



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **“REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA EXPENDEDORA INVERSA (RVM) AUTOMATIZADA, ORIENTADA AL RECICLAJE DE BOTELLAS PLÁSTICAS PET PARA LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

**CARDOSO TOTOY DIEGO MARCELO  
VIZCAÍNO SALAZAR HOLGER MARCELO**

## **TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Previa a la obtención del Título de:**

## **INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2015**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**2015-05-04**

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparada por:

**CARDOSO TOTOY DIEGO MARCELO  
VIZCAÍNO SALAZAR HOLGER MARCELO**

---

Titulado:

**“REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA EXPENDEDORA  
INVERSA (RVM) AUTOMATIZADA, ORIENTADA AL RECICLAJE DE  
BOTELLAS PLÁSTICAS PET PARA LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Marco Santillán G.  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Jorge Lema Morales  
**DIRECTOR DE TESIS**

---

Ing. Ángel Silva Conde  
**ASESOR DE TESIS**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

## **EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** CARDOSO TOTOY DIEGO MARCELO

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:** **“REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA EXPENDEDORA INVERSA (RVM) AUTOMATIZADA, ORIENTADA AL RECICLAJE DE BOTELLAS PLÁSTICAS PET PARA LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

**Fecha de Examinación:** 2015-11-05

### **RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Edwin Viteri Núñez <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Jorge Lema Morales <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Ángel Silva Conde <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. Edwin Viteri Núñez  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

## **EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** VIZCAÍNO SALAZAR HOLGER MARCELO

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:** **“REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA EXPENDEDORA INVERSA (RVM) AUTOMATIZADA, ORIENTADA AL RECICLAJE DE BOTELLAS PLÁSTICAS PET PARA LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

**Fecha de Examinación:** 2015-11-05

### **RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Edwin Viteri Núñez <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Jorge Lema Morales <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Ángel Silva Conde <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. Edwin Viteri Núñez  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Cardoso Totoy Diego Marcelo**

---

**Vizcaíno Salazar Holger Marcelo**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo dedico a muchas personas por haberme congratulado con su presencia en mi vida; entre los cuales puedo destacar:

A Dios por la oportunidad de vivir un mundo lleno de bendiciones. A mi hijo Marcelo Rodrigo quien es un pilar fundamental en el desarrollo de mi existencia y quien es un motivo adicional que me impulsa a seguir adelante.

A mis padres; Rodrigo y María, quien gracias a sus consejos y apoyo incondicional; me han permitido desarrollar una vida satisfactoria llena de valores. A mis hermanos que en todo momento me impulsaron a crecer y no caerme en momentos difíciles. A mis amigos y familiares que influyeron de una manera importante con su alegría y el deseo de progreso para ser mejor como persona y útil en el desarrollo de la sociedad.

**Diego Marcelo Cardoso Totoy**

Dedico el presente trabajo con un profundo amor y esfuerzo a mi madre Carmen Salazar quien con su firme e incondicional apoyo me supo encaminar en un buen porvenir, siendo un pilar fundamental en el transcurso de mi vida.

A toda mi familia y amigos de “El Hormiguero” quienes creyeron en mí y me encaminaron con sus consejos de superación y excelencia.

Es por esta razón que lo dedico con mucho amor para todos ellos por haberme acompañado y estar presentes en cada momento del transcurso de mi formación como persona y profesional.

**Holger Marcelo Vizcaíno Salazar**

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento muy profundo a Dios por brindarnos la oportunidad de vivir y ser mejores cada día y a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, a su personal docente y administrativo que conjuntamente tuvieron el afán de ayudarnos a cumplir con el sueño de ser profesionales, para inmiscuirnos en el desarrollo de la sociedad de nuestro país y el mundo.

Además, agradecemos a nuestras familias, amigos por brindarnos su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos que cursamos en la vida estudiantil y futuro profesional.

A los miembros del tribunal del Trabajo de Titulación que fueron el pilar del conocimiento fundamental en el desarrollo y culminación del presente proyecto.

**Diego Marcelo Cardoso Totoy**  
**Holger Marcelo Vizcaíno Salazar**

## **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como principal función el “Rediseño, Cálculo, Construcción e Implementación de la Máquina Expendedora Inversa (RVM) Automatizada, orientada al reciclaje de botellas plásticas (PET) para la Facultad de Mecánica - ESPOCH”, el objetivo es reciclar en la máquina objeto de construcción las botellas plásticas (PET) de hasta 500 ml consumidas por los estudiantes.

Las botellas plásticas compactadas al máximo, serán la base principal para la elaboración de otros tipos de productos por medio de los diferentes procesos de manufactura para cada aplicación, -siendo un aporte fundamental al cambio de la matriz productiva en el sector medio-ambiental con en este tipo de máquinas.

Esta máquina está diseñada para proporcionar a la comunidad politécnica un medio rápido y fácil de reciclar correctamente las botellas, por lo que la automatización se convierte en un imperativo para satisfacer esta necesidad.

La máquina fue desarrollada paulatinamente en su construcción y funcionamiento con pruebas iniciales, específicamente en el sistema mecánico de compactación para el análisis de la fuerza de compresión.

Según los resultados obtenidos en las encuestas realizadas en la Facultad de Mecánica, el entregar un dulce por la máquina es de gran acogida por los estudiantes, generando un incentivo para garantizar el reciclaje.

En el presente trabajo se establecen las condiciones de funcionalidad y mantenibilidad correcta para esta máquina.



## **ABSTRACT**

The present draft degree has the main function the “Redesign, calculus, construction and implementation of the Automated Reverse Vending Machine (RVM), Oriented to the recycling of plastic bottles PET for the Faculty of Mechanical – ESPOCH”, the goal is to recycle plastic bottles PET up to 500 ml consumed by students.

Compacted plastic bottles will be the main basis for the development of other types of products through different manufacturing processes for each application, it is a fundamental contribution to change the productive matrix of the environmental sector with this type of machine.

This machine is designed to provide to the polytechnic community a quick and easy way to recycle the bottles, so that automation becomes imperative to satisfy this need. The machine was gradually developed in its construction and initial testing operation, specifically in the mechanical compaction system for analyzing the compressive force.

According to the results of the polls conducted in the Faculty of Mechanical Engineering, the machine will deliver a sweet that is received by students, creating an incentive to ensure recycling.

The conditions of functionality and maintainability correct for this fully automated machine down in this monograph titling project.

## CONTENIDO

Pág.

### 1. GENERALIDADES

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación .....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivo General.....	3
1.3.2	Objetivos Específicos .....	3
1.4	Definición del Tema .....	4

### 2. ESTADO DEL ARTE, MARCO TEÓRICO Y ESPECIFICACIONES

2.1	Estado del Arte .....	5
2.2	Marco Teórico .....	7
2.2.1	Estado de la máquina expendedora inversa previo al rediseño con sus respectivas consideraciones de mejora. ....	7
2.2.1.1	Sistema mecánico .....	9
2.2.1.2	Sistema Automático.....	9
2.2.1.3	Sistema de almacenamiento.....	10
2.2.1.4	Sistema de retribución. ....	10
2.2.2	Consideraciones del plástico PET.....	11
2.2.3	Reciclaje de PET.....	11
2.2.4	Principales Aplicaciones del PET reciclado (RPET).....	15
2.3	Especificaciones.....	16
2.3.1	Diseño Modular .....	16
2.3.2	Matriz Morfológica.....	19

### 3. REDISEÑO MECÁNICO

3.1	Experimentaciones.....	21
3.1.1	Análisis de la funcionalidad del motorreductor y su sistema. ....	21
3.1.2	Experimentación de la fuerza de compresión de la tapa de botella tipo PET... ..	22
3.2	Dimensionamiento de los Cilindros Compactadores.....	23
3.2.1	Muecas de Agarre.....	23
3.2.2	Cilindros Primarios con muesca .....	23
3.3	Potencia Requerida .....	27
3.4	Selección del Motorreductor .....	30
3.5	Diseño de engranajes rectos .....	31
3.5.1	Diseño Geométrico .....	31
3.5.2	Esfuerzo de trabajo por flexión.....	35
3.5.3	Esfuerzo de trabajo por contacto .....	40
3.6	Diseño del eje .....	43
3.6.1	Análisis de Cargas .....	43
3.6.2	Análisis por Fatiga .....	47
3.7	Diseño de chavetas .....	51
3.8	Selección de cadena.....	52
3.9	Selección de chumaceras .....	57
3.10	Dimensionamiento de los pernos de sujeción.....	65
3.10.1	Pernos de sujeción en la carcasa. ....	65

3.10.2	Pernos de sujeción del sistema de compactación con la carcasa. ....	68
3.10.3	Pernos de sujeción del motorreductor con las placas de soporte al sistema de compactación. ....	70
3.10.4	Dimensionamiento de los prisioneros. ....	72
3.11	Diseño del sistema de retribución. ....	74
<b>4.</b>	<b>REDISEÑO AUTOMÁTICO.</b>	
4.1	Sistema de accionamiento de identificación. ....	76
4.2	Sistema de accionamiento de retribución. ....	80
4.3	Sistema de ingreso y salida de señales de la máquina RVM. ....	81
4.4	Sistema de interfaz HMI con máquina RVM. ....	82
4.5	Diagrama de Potencia de la máquina RVM. ....	83
<b>5.</b>	<b>CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PROGRAMACIÓN</b>	
5.1	Construcción del sistema de identificación y acceso de botellas plásticas PET. ....	88
5.2	Construcción del sistema de incentivo por botella. ....	89
5.3	Construcción de la caja para HMI. ....	90
5.4	Construcción del cono para sistemas de identificación, acceso e incentivo. ....	90
5.5	Construcción del almacenamiento de botellas compactadas. ....	91
5.6	Construcción del sistema de compactación. ....	91
5.7	Montaje total de elementos de la máquina RVM. ....	93
5.8	Programación del sistema automático. ....	94
5.8.1	Programación en Arduino. ....	94
5.8.2	Programación en TIA Portal. ....	95
<b>6.</b>	<b>FASE EXPERIMENTAL</b>	
6.1	Puesta en marcha del equipo. ....	98
6.2	Pruebas de funcionamiento. ....	99
6.2.1	Pruebas en el sistema mecánico. ....	99
6.2.2	Pruebas en el sistema automático. ....	99
6.2.3	Pruebas en el sistema retribución. ....	99
6.2.4	Pruebas en el sistema de acceso de la botella. ....	100
6.3	Análisis de resultados. ....	100
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS</b>	
7.1	Costos directos. ....	102
7.2	Costos Indirectos. ....	104
7.3	Costos Totales. ....	105
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
8.1	Conclusiones. ....	106
8.2	Recomendaciones. ....	108

## **BIBLIOGRAFIA**

## **ANEXOS**

## **PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

**Pág.**

1	Características del PET y RPET .....	14
2	Matriz Morfológica de la mejor alternativa. ....	19
3	Propiedades y características de la botella plástica PET de 500 ml .....	22
4	Índice de calidad. ....	36
5	Distribución de carga. ....	37
6	Factor de Aplicación. ....	37
7	Factor por Tamaño. ....	37
8	Factor por Confiabilidad. ....	38
9	Coeficiente de Poisson. ....	40
10	Confiabilidad .....	49
11	Proporciones para chavetas paralelas estándares. ....	51
12	Factor de Servicio .....	52
13	Potencia Admisible .....	53
14	Extrapolación .....	53
15	Factores de esfuerzo estático .....	59
16	Capacidad anticorrosiva.....	64
17	Dimensiones de pernos de cabeza cuadrada y hexagonal.....	65
18	Dimensiones de tornillos de cabeza hexagonal común y pesada.....	65
19	Dimensiones de tuercas hexagonales.....	65
20	Especificación SAE para pernos de acero .....	66
21	Dimensiones de pernos de cabeza cuadrada y hexagonal.....	68
22	Dimensiones de tornillos de cabeza hexagonal común y pesada.....	68
23	Dimensiones de tuercas hexagonales.....	69
24	Especificación SAE para pernos de acero .....	69
25	Especificación SAE para pernos de acero .....	71
26	Dimensionamiento de pernos de cabeza cuadrada y hexagonal .....	73
27	Dimensionamiento de tornillos de cabeza hexagonal común y pesada .....	73
28	Dimensiones de tuercas hexagonales.....	74
29	Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero ..	74
30	Parámetros de manejo del sensor PET.....	78
31	Parámetros del servomotor MG996R. ....	79
32	Parámetros del servomotor HiTEC HS-311. ....	81
33	Materiales utilizados en el sistema de compactación. ....	85
34	Materiales utilizados en la Carcasa.....	86
35	Materiales utilizados en el sistema de sujeción. ....	87
36	Materiales utilizados en el Sistema de incentivo .....	87
37	Materiales utilizados en el Sistema de Recepción botella .....	88
38	Resultados de compactación de botellas diversas.....	101
39	Resultados promedio de compactación de las botellas .....	101
40	Costos de Materiales .....	102

41	Costos por Mano de Obra .....	103
42	Costos por uso de máquinas y herramientas .....	103
43	Costos por transporte .....	104
44	Total de Costos Directos .....	104
45	Total de Costos Directos .....	105
46	Total de Costos Directos .....	105

## LISTA DE FIGURAS

**Pág.**

1	Cifras de Reciclaje en el Ecuador .....	5
2	Primer modelo de máquina RVM .....	8
3	Modelo rediseñado máquina RVM .....	8
4	Nuevo sistema de Compactación .....	9
5	Nuevo sistema Automático .....	9
6	Nuevo sistema de almacenamiento .....	10
7	Nuevo sistema de Incentivo .....	10
8	Marca (polyethylene terephthalate) PET .....	11
9	Problemática Ecológica.....	12
10	Proceso de Reciclado Mecánico PET .....	13
11	Proceso de reciclado químico del PET .....	14
12	Compactadora de un solo rodillo .....	16
13	Compactadora Hidráulica Vertical.....	17
14	Compactación por rodillos en serie.....	18
15	Diseño Modular.....	20
16	Funcionalidad del primer motorreductor .....	21
17	Ensayo de compresión de las botellas PET en la Máquina Universal. ....	22
18	Dimensionamiento de las muescas de agarre.....	23
19	Ángulo inicial de contacto cilindro - botella.....	23
20	Dimensionamiento de los cilindros de agarre, empuje y rompimiento.....	26
21	Cilindro de compactación. ....	28
22	Selección motorreductor .....	30
23	Factor geométrico. ....	35
24	Factor Dinámico.....	36
25	Factor por ciclo de esfuerzo. ....	39
26	Factor por duración. ....	42
27	Diagrama de cuerpo libre del eje. ....	43
28	Diagrama de cuerpo libre cilindro 1. ....	44
29	Diagrama de cuerpo libre engrane 2. ....	44
30	Diagrama de cuerpo libre catalina 3. ....	45
31	Diagrama de cuerpo libre de cargas en ZX.....	45
32	Reacciones ZX .....	45
33	Diagrama de momentos ZX. ....	46
34	Diagrama de cuerpo libre de cargas en XY .....	46
35	Reacciones XY.....	46
36	Diagrama de momentos XY.....	46
37	Diagrama de estados superficiales .....	49
38	Chaveta cuadrada .....	51
39	Selección del número de serie de la cadena. ....	53
40	Parámetros de la cadena.....	56

41	Parámetros de la catalina.....	57
42	Chumacera cuadrada .....	58
43	Rodamiento de bola .....	58
44	Factores de velocidad de giro vs factores de esfuerzo dinámico .....	59
45	Selección del rodamiento .....	61
46	Parámetros del rodamiento.....	62
47	Selección de la chumacera .....	62
48	Chumacera UCF205-100D1 seleccionada .....	64
49	Resistencia al corte de los pernos .....	66
50	Prisioneros del sistema de compactación.....	72
51	Geometría del sistema de almacenaje de chicles. ....	75
52	Placa Arduino para control de Servos.....	76
53	Ducto para el deslizamiento de la botella .....	77
54	Sensor por reflexión con filtro polarizado para la detección .....	77
55	Elementos de indicación y manejo.....	78
56	Curva característica de funcionamiento del sensor PET.....	78
57	Diagrama de potencia relativa de recepción lumínica del sensor PET.....	79
58	Soportes de Accionadores.....	88
59	Caja de acople para HMI .....	90
60	Elemento cónico de la máquina RVM .....	91
61	Placa paralela para montaje de elementos mecánicos de compactación.....	92
62	Montaje Final de la máquina RVM.....	93
63	Diagrama de la Construcción y el Montaje de la máquina RVM. ....	94
64	Línea de Programación Arduino .....	94
65	Enlace de conexión PLC-Portátil.....	95
66	Segmento de control para el encendido y apagado de la máquina.....	96
67	Segmento de control para la puerta de acceso de botella PET.....	96
68	Segmento de control para el sistema de retribución por cada reciclaje .....	97
69	Segmento de control para el sistema de compactación.....	97
70	Botellas procesada máquina RVM.....	101

## SIMBOLOGÍA

P	Potencia motorreductor	Hp
V	Voltaje motorreductor	V
$\omega$	Velocidad angular del motorreductor	rpm
a, b, c, d	Ángulos geométricos de los cilindros primarios	°
T	Torque aplicado	N.m
$\phi$	Diámetro de cilindros compactadores	mm
R	Radio externo de cilindros compactadores	mm
$L_g$	Espesor a compactar botella	mm
$\theta$	Ángulo de empuje	°
$L_c$	Longitud de los cilindros compactadores	mm
$\mu$	Coefficiente de rozamiento	
N	Fuerza de compactación	N
$\rho$	Densidad del material	Kg/m <sup>3</sup>
$M_c$	Masa cilindro	Kg
$V_c$	Volumen cilindro	m <sup>3</sup>
$b_m, h_m$	Datos geométricos de la muesca	mm
$F_t$	Fuerza tangencial	N
$F_r$	Fuerza radial	N
I	Inercia en los cilindros	kg. mm <sup>2</sup>
$r_i$	Radio interno de cilindros compactadores	mm
t	Tiempo de estabilización	s
$\alpha$	Aceleración angular de estabilización	rad/s <sup>2</sup>
$F_f$	Fuerza de fricción	N
$\Sigma_T$	Sumatoria de torques	N.mm
$\eta$	Rendimiento del motorreductor	
i	Relación de transmisión	
$Z_P$	Numero de dientes piñón	
$Z_R$	Numero de dientes rueda	
m	Módulo de engranes	
$\theta_P$	Ángulo de presión engranes	°
C	Distancia entre centros rueda-piñón	mm
$D_P$	Diámetro piñón	mm
$D_R$	Diámetro rueda	mm
$p_c$	Paso circular	mm
e	Espesor del diente	mm
h	Altura del diente	mm
$a_c$	Adendum	mm
$a_p$	Dedendum	mm



$c$	Claro	mm
$F$	Ancho de engrane	mm
$R_{cont.}$	Relación de contacto	mm
$Z$	Longitud de la línea de presión	mm
$r_{ap}$	Radio externo del piñón	mm
$r_{ar}$	Radio externo de la rueda	mm
$r_{bp}$	Radio base piñón	mm
$r_{br}$	Radio base rueda	mm
$W_t$	Fuerza de trabajo por flexión	N
$J_p$	Factor Geométrico	
$v$	Velocidad	mm/s
$Q_v$	Índice de calidad	
$K_v$	Factor dinámico	
$K_m$	Factor de distribución de carga	
$K_a$	Factor de aplicación	
$K_b$	Factor de espesor del rim	
$K_s$	Factor de tamaño	
$\sigma_F$	Esfuerzo por flexión en el piñón	MPa
$S_{ut}$	Esfuerzo ultimo de tracción	MPa
$S_y$	Límite de fluencia	MPa
$\sigma_{F(adm)}$	Esfuerzo admisible de flexión	MPa
$K_T$	Factor de temperatura	
$K_R$	Factor de confiabilidad	
$N_c$	Número de ciclos	Ciclos
$K_L$	Factor por ciclo de esfuerzo	
$S_C$	Esfuerzo de trabajo por contacto	MPa
$C_p$	Coeficiente elástico	$(MPa)^{0.5}$
$\nu$	Coeficiente de Poisson	
$E$	Módulo de Young	MPa
$I_g$	Factor geométrico	
$\rho_c$	Radio de curvatura de los dientes	Mm
$\sigma_{C(adm)}$	Esfuerzo de contacto admisible	MPa
$x$	Altura del centro al punto de aplicación de fuerza	Mm
$ZX, XY$	Planos de carga	
$M'$	Momento aplicado en un punto en el plano ZX	N.m
$M''$	Momento aplicado en un punto en el plano XY	N.m
$M_R$	Momento resultante	N.m
$K_t$	Coeficiente teórico de concentración a fatiga	
$K_{ts}$	Coeficiente teórico de concentración a corte	
$q_f$	Sensibilidad a la muesca por fatiga	
$q_t$	Sensibilidad a la muesca por cortante	

$K_f$	Factor de concentración de esfuerzos por fatiga	
$K_{fs}$	Factor de concentración de esfuerzos por corte	
$S_e$	Límite de fatiga	MPa
$S_e'$	Límite de fatiga en una probeta	MPa
$d$	Diámetro tentativo del eje	mm
$k_a$	Factor por estado superficial	
$k_b$	Factor por tamaño de la pieza	
$K_c$	Factor por confiabilidad	
$K_d$	Factor por temperatura	
$K_e$	Factor por efectos varios	
$K_{carga}$	Factor por carga	
$\eta_s$	Factor de seguridad	
$b_{ch}$	Altura chaveta cuadrada	mm
$L_{ch}$	Longitud chaveta cuadrada	mm
$T_{fc}$	Tiempo de horas funcionamiento cadena	h
$c_c$	Factor de servicio cadena	
$A_{mín.}$	Distancia entre centros mínima entre coronas	mm
$\#p$	Numero de pasos	
$p$	Paso	
$L_c$	Longitud cadena	in
$\alpha_c$	Ángulo de contacto diente-corona	°
$s$	Velocidad cadena	fpm
$F_{req}$	Fuerza requerida cadena	Lb
$F_s$	Factor de seguridad	
$U$	Fuerza de trabajo en catálogo	Lb
$\#c$	Número de catalinas en contacto	
$i_f$	Ciclo de vida	rev/s
$[i_f]$	Ciclo de vida a tope máximo	rev/s
$R_{radial}$	Reacción radial en el eje	N
$f_n$	Factor de velocidad de giro para chumaceras	
$f_l$	Factor de esfuerzo dinámico para chumaceras	
$S_o$	Factor de esfuerzos estáticos para chumaceras	
$P_r$	Fuerza dinámica	N
$F_a$	Fuerza axial	N
$X$	Factor radial dinámico	
$Y$	Factor axial dinámico	
$C_{REQ}$	Fuerza por análisis dinámico requerido	KN
$P_{or}$	Fuerza estática	N
$X_o$	Factor radial estático	
$Y_o$	Factor axial estático	
$C_{OREQ}$	Fuerza por análisis estático requerido	KN

$C_{DIS}$	Fuerza dinámica disponible	KN
$C_{ODIS}$	Fuerza estática disponible	KN
$\tau$	Resistencia al corte de pernos	MPa
$A_b$	Área de sección transversal del perno	mm <sup>2</sup>
$R_n$	Resistencia de diseño a corte	N
$\phi$	Coeficiente LRFD de resistencia a corte	
$F_{sp}$	Factor de seguridad perno	
$F_m$	Peso del motorreductor	Kgf
$H_{c.i}$	Altura cilindro incentivo	mm
$\phi_{ch}$	Diámetro chicle	mm

## LISTA DE ABREVIACIONES

PET	Polietileno de Tereftalato
RPET	Polietileno de Tereftalato reciclado
RVM	Máquina Expendedora Inversa
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
ASTM	Sociedad Americana de Pruebas y Medidas
USD	Dólar Estadounidense
CIA LTDA	Compañía Limitada
PLC	Controlador Lógico Programable
HMI	Interfaz Hombre Máquina
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
3R	Reduce-Reutiliza-Recicla
RPET	Polietileno de Tereftalato Reciclado
EG	Etilenglicol
IV	Viscosidad Intrínseca
fpm	Pies por minuto
Rim	Espesor de orilla
SAP	Software Integrado para Análisis y Diseño Estructural
JIS	Estándares Industriales Japoneses
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices
LRFD	Factores de carga y resistencia de diseño
TIA	Automatización totalmente integrada
VCC	Voltaje de Corriente Continua
Hz	Hercios unidad de frecuencia
ms	Milisegundos
AISI	Instituto Americano del Hierro y del Acero
M#	Designación del sistema métrico para pernos.
VDC	Voltaje de Corriente Directa
TIG	Proceso de soldadura por gas inerte de tungsteno (tungsten inert gas)
SAW	Proceso de soldadura de por arco sumergido (Submerged arc welding)

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Especificaciones Funcionales y Plan de Mantenimiento de la Máquina RVM.
- B** Especificaciones de los componentes de la Máquina.
- C** Orden de Trabajo
- D** Inspección semanal RVM
- E** Reporte de Mantenimiento
- F** Pedido de Repuestos y Materiales
- G** Recepción de Repuestos
- H** Registro de Reparaciones
- I** Descripción del Motorreductor
- J** Descripción De Componentes Electrónicos
- K** Fotografía final de la máquina RVM

## **CAPÍTULO I**

### **1. GENERALIDADES**

#### **1.1 Antecedentes**

En la actualidad el consumo de bebidas que tienen como envase botellas plásticas (PET), se ha incrementado considerablemente debido al gran crecimiento poblacional; estos envases no cuentan con un correcto almacenamiento y reciclaje. Por lo cual se deben proporcionar medios rápidos y fáciles que le permitan a la comunidad politécnica reciclar, de una manera adecuada, las botellas (PET). Este aspecto tiene otra importante contribución, y es favorecer el medio ambiente. Una máquina recicladora debe funcionar adecuadamente para brindar un servicio propio, rápido y eficiente ante los usuarios, por lo que la automatización se convierte en un imperativo para satisfacer esta necesidad, de forma óptima.

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica, se desarrolló un equipo que permite el reciclaje de botellas plásticas PET. Este equipo se obtuvo a través del trabajo de tesis de grado denominado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE MÁQUINA EXPENDEDORA INVERSA (RVM) AUTOMATIZADA, ORIENTADA AL RECICLAJE DE BOTELLAS PLÁSTICAS PET PARA LA FACULTAD DE MECÁNICA – ESPOCH”; cuyo sistema automático cuenta con un sensor de detección de objetos. Éste permite el paso de la botella hacia la máquina expendedora. Seguidamente, las botellas reciclables pasan a un sistema de control logo siemens y módulo expansor. La máquina está dotada además de dos servomotores de 3,2 y 15 kg, para el sistema de captación de la botella y el sistema de pago por centavos respectivamente.

Además, cuenta con un sistema de compactación, el mismo que constituye un tambor con su respectivo conjunto y un motorreductor trifásico de 0,33 Hp con una velocidad de salida de 18 rpm, la estructura y cubierta de la máquina es de un acero ASTM A36.

El gran consumo de bebidas, utilizando botellas de 500 ml por los estudiantes, hace que la utilización de la máquina RVM disponible en la Escuela de Ingeniería Mecánica, no

cumpla con la necesidad a la cual fue proyectada; puesto que presenta diversas limitaciones en su funcionamiento entre los cuales se tiene:

- El sensor dispuesto permite el paso de cualquier objeto sin especificar que sea o no botella PET, por lo cual puede conllevar problemas graves en su funcionamiento.
- El medio de incentivo tiene la limitación de que en su capacidad solo puede contener 50 centavos; siendo una tarea muy tediosa estar abasteciendo reiteradamente el sistema.
- El sistema mecánico para la compactación de botellas no presenta el torque suficiente para los requerimientos actuales.
- La carcasa presenta una deficiencia: no cumple con las normas y expectativas que se necesitan para su funcionamiento.

Por tal motivo se necesita que los sistemas mecánicos y automáticos sean rediseñados, para optimizar la citada máquina; cumpliendo así con los parámetros esenciales que debe disponer una máquina RVM para su correcto uso y funcionamiento; estos son: estética, hermeticidad y ergonomía. Teniendo también una proyección para su implementación en otras instituciones a nivel del país.

## **1.2 Justificación**

Con la finalidad de hallar justificaciones claras y concretas para el desarrollo del tema propuesto es indispensable argumentar los diferentes aspectos que conlleva a la realización del presente trabajo:

*Justificación técnica:* Debido a encuestas anteriormente realizadas, proporcionan información sobre el gran número de botellas PET que no son recicladas adecuadamente en la ESPOCH; y que se necesita un medio accesible para su correcto reciclaje. Teniendo en cuenta que se dispone de una máquina expendedora inversa de reciclaje de botellas PET, cuyo sistema automático y de diseño no abastece esta demanda. El rediseño del presente proyecto va encaminado a la implementación de una máquina que cumpla con las necesidades actuales y asequibles de los estudiantes de la Facultad, cumpliendo así

que el equipo cuente con un buen sistema ergonómico, estético, hermético, automático e implementado en su funcionalidad total al servicio.

*Justificación económica:* El rediseño e implementación del presente proyecto es económicamente factible, ya que es sustentable. Este sistema capta materia prima manufacturada (botellas plásticas PET), las cuales, que por medio de la máquina, son compactadas y almacenadas, para que posteriormente el encargado de la misma pueda comercializarlas y posteriormente manufacturada.

*Justificación social:* Este proyecto beneficiará a la mayor parte de los estudiantes Politécnicos de la Facultad de Mecánica, ya que existe un promedio de consumo de 225 botellas de 500 ml en toda la semana. Se contará con un procedimiento de reciclaje de botellas y que por esta labor se retribuirá a través de un sistema de pago, un incentivo de atrayente dulce.

*Justificación ecológica:* El tema de reciclaje en la Facultad de Mecánica es de vital importancia, puesto que contribuye a mitigar la contaminación ambiental. Esta política es muy beneficiosa, ya que permite tener un medio ambiente más saludable, y por otra parte, se le da cumplimiento a lo establecido en las regulaciones medio-ambientales actuales.

### **1.3      Objetivos**

#### **1.3.1    Objetivo General**

Rediseñar la Máquina Expendedora Inversa (RVM) automatizada, orientada al reciclaje de botellas plásticas PET para la Facultad de Mecánica – ESPOCH.

#### **1.3.2    Objetivos Específicos**

- Presentar información sobre las máquinas expendedoras inversas que se encuentran operando y sus características de funcionamiento.
- Informar las características de funcionamiento de la máquina, detallando errores y proponiendo las mejoras respectivas en todos sus sistemas que la componen previo al rediseño.



- Verificar la funcionalidad del equipo en condiciones de servicio, realizando ensayos para su correcto desempeño y proporcionar una guía de usuario y manual de mantenimiento para una adecuada funcionalidad de la máquina Reverse Vending Machine.

#### **1.4 Definición del Tema**

El propósito real, fundamental que tiene la máquina expendedora inversa RVM, es dar solución a una necesidad específica, la misma que se trata del reciclaje de botellas plásticas PET de hasta 500 ml, en la Facultad de Mecánica “ESPOCH”.

El principio fundamental de la máquina RVM, es el compactar las botellas plásticas recicladas por los estudiantes, posteriormente para su almacenaje en la misma. El sistema automático de la máquina cuenta con el equipamiento de última tecnología en el control y mando de la misma, para tener una rapidez en su funcionamiento.

## CAPITULO II

### 2. ESTADO DEL ARTE, MARCO TEÓRICO Y ESPECIFICACIONES

#### 2.1 Estado del Arte

El reciclaje de botellas plásticas es de vital importancia, considerando que la humanidad necesita un ambiente más agradable y sano, por lo cual se evidencian varias alternativas para reducir la contaminación, fruto del desarrollo industrial.

La industria desde el punto de vista económico no considera al medio ambiente como un factor importancia en el entorno social.

Muchas personas han comenzado a reciclar las botellas plásticas, puesto que se tiene un ingreso económico para su subsistencia. En el país se observa que el reciclaje de este producto entre otros más se incrementa considerablemente. Según información presentada por diario el Comercio presenta que el reciclaje creció del “25.16% en el 2010, paso al 38.32% el año pasado (2014) en un total de 30365 hogares encuestados”, donde lo que más se recolecta son las botellas plásticas.

Figura 1. Cifras de Reciclaje en el Ecuador



Fuente: (El Comercio, 2015)

Luego de reciclar varias botellas se procede a entregar en centros de acopio los cuales compran al peso de este artículo, y que según lo investigado en estos establecimientos el valor varía entre 60 a 70 centavos por kilo, dependiendo el lugar de acopio. (El Comercio, 2015)

Se insertaron nuevas reglamentos con la finalidad de incrementar el reciclaje. El Gobierno Nacional presentó “La ley de Fomento Ambiental y Optimización de los Ingresos, en la que se establece el impuesto redimible a las botellas plásticas no retornables”, esta ley en el 2012 entro en vigencia.

Este reglamento declara que “por cada botella plástica gravada con este impuesto se aplicara la tarifa de hasta 0.2 centavos de dólar, valor que se devolverá a quien recoja, entregue y retorne las botellas, para lo cual se establecerán los respectivos mecanismos, tanto al sector público como privado, para su recolección, conforme responda al respectivo reglamento”. (CONSTITUYENTE, ASAMBLEA NACIONAL. 2011)

Muchas empresas utilizan los envases plásticos para generar nuevos productos que se van introducir nuevamente al mercado, una de ellas es Coca Cola quien embotellara con material reciclado, esto se lo realiza gracias a equipos avanzados que procesan este material para darle nuevo uso.

Es por lo cual, varias organizaciones promueven el reciclaje de varios productos contaminantes como papel, plástico acero cobre entre otras. Para este proyecto se toma en cuenta las botellas plásticas que dañan el entorno y que abundan en la colectividad.

En la actualidad el reciclaje de las botellas no es el más adecuado, salvo algunas instituciones que consideran este tema de vital importancia, para un mejor hábitat entre los cuales se tiene:

“Diseño de un sistema de residuos sólidos inorgánicos (plástico y vidrio) para el Gobierno Municipal del Cantón Palora, Provincia de Morona Santiago” (Ecuador): Es el sistema integral de residuos sólidos inorgánicos con mayor proporción de plástico PET (polietileno tereftalato), tiene un área de 50 m<sup>2</sup> que brindan alternativas de recolección y tratamientos de desechos.

“Diseño y construcción de un prototipo de Máquina Vending Inversa para la aceptación, compactación y almacenamiento de botellas PET de 250 a 3000 cm<sup>3</sup> para SERPRA CIA. LTDA.” (Ecuador). Esta máquina posee un sistema de identificación de botellas, un sistema neumático para compactar y un sistema electrónico de intercambio de botellas por tiques de impresión.

## **2.2 Marco Teórico**

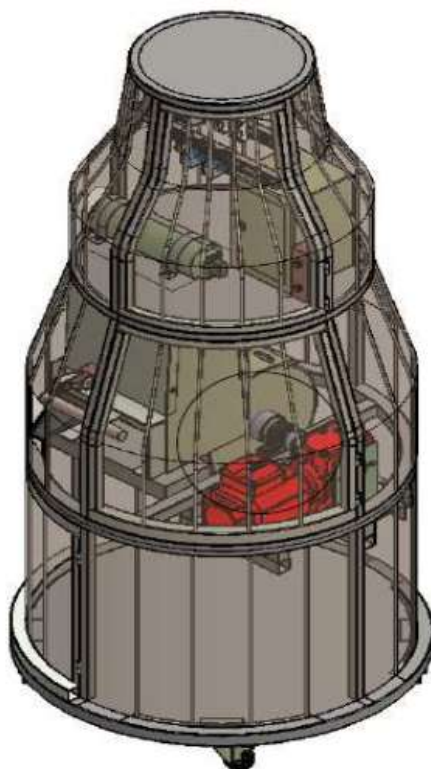
Conociendo que el reciclaje de las botellas plásticas es muy importante y que en el país muchas personas realizan esta labor puesto que esto representa un ingreso económico adicional, se plantea que la máquina expendedora inversa se readecue en todos sus sistemas que lo componen. El presente trabajo tiene como meta incrementar el reciclaje, aportando así con la sociedad.

Motivo por lo cual el rediseño de la Máquina es muy novedosa y atrayente. Siendo el proyecto vistoso para las personas y sobre todo que colabore a que las personas observemos el problema en que todos estamos inmersos sobre la contaminación y que tenemos alternativas de mejorar el ambiente que nos rodea, con métodos adecuados para el reciclaje.

**2.2.1** *Estado de la máquina expendedora inversa previo al rediseño con sus respectivas consideraciones de mejora.* El rediseño e implementación de la máquina expendedora inversa (RVM) automatizada, orientada al reciclaje de botellas plásticas PET (polyethylene terephthalate) para la Facultad de Mecánica; se desarrolla a partir de la máquina que se dispone, en la escuela de Ingeniería Mecánica la cual tiene sistemas funcionales dependientes cada uno presta su función adecuada para que en su conjunto proporcione los requerimientos específicos de funcionamiento en los diversos sistemas que lo componen.

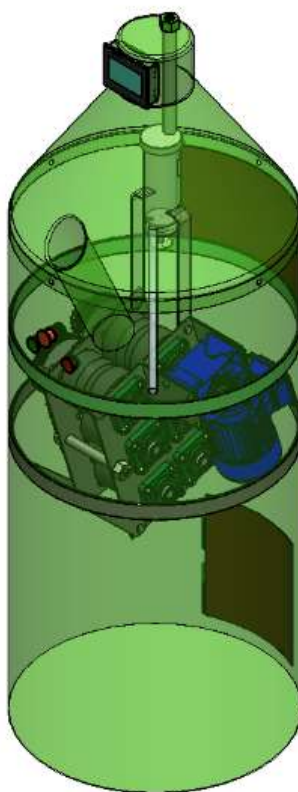
Sin embargo la respectiva máquina presenta algunas deficiencias en todos sus sistemas que la componen, dando así que este equipo sea ineficiente para realizar el trabajo requerido por los usuarios y no aportando en forma eficaz en la labor del reciclaje de las botellas plásticas.

Figura 2. Primer modelo de máquina RVM



Fuente: (CASTILLO; DAQUILEMA, 2014)

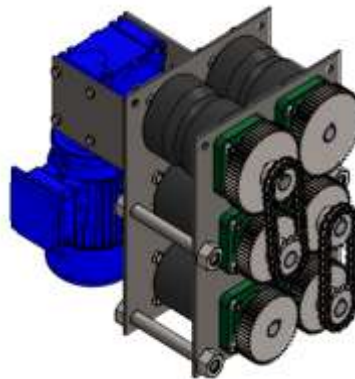
Figura 3. Modelo rediseñado máquina RVM



Fuente: (Autores)

**2.2.1.1 Sistema mecánico.** La máquina se encuentra diseñada para la compactación con un sistema de dos cilindros, uno móvil y otro fijo separados a una cierta distancia y que es accionado con un motorreductor trifásico 0.33 Hp, sin embargo el torque que produce y la disposición de los cilindros no son los necesarios para tener una adecuada compactación de las botellas, motivo por el cual se incorporan seis rodillos, los cuales comprimen las botellas gradualmente a un espesor uniforme, en el cual se implementa un sistema de transmisión por cadena mejorando la compactación de las botellas. Se acciona mediante un motorreductor de: 0.5 Hp, 110 V y con una velocidad de salida de 28 rpm.

Figura 4. Nuevo sistema de Compactación



Fuente: (Autores)

**2.2.1.2 Sistema Automático.** El sistema muestra la automatización por medio de un Logo Siemens que activa el motorreductor, los accesorios de la máquina como luces, botones entre otros y el sistema de retribución, sin embargo para la presente propuesta se incorpora un Controlador Lógico Programable (PLC) marca Siemens; un sensor para detección PET y otro sensor para seguridad de los usuarios, Pantalla HMI KTP 400 monocromática, y un Arduino para controlar los servomotores de forma eficaz.

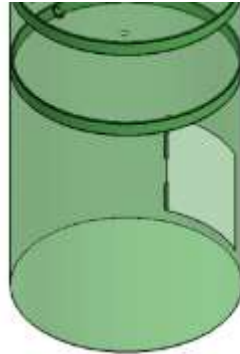
Figura 5. Nuevo sistema Automático



Fuente: (Autores)

**2.2.1.3 Sistema de almacenamiento.** La máquina previa presenta un diseño de almacenaje considerablemente grande, sin embargo luego de presentar las mejoras y que las botellas comprimidas ocupen menor volumen se procedió a reducir las dimensiones del sistema de almacenaje el cual es mostrado en los respectivos planos y que abarca la necesidad previamente estudiada. Además se incorporó para la construcción, acero inoxidable 304 evitando así problemas de corrosión.

Figura 6. Nuevo sistema de almacenamiento



Fuente: (Autores)

**2.2.1.4 Sistema de retribución.** Dado que en la máquina previa presenta una retribución de un centavo por botella reciclada y su capacidad máxima es de 50 centavos lo cual conlleva problemas al tener que estar continuamente incorporando centavos. Se propone la retribución de un dulce por cada botella los cuales se encuentran almacenados en un cilindro de acero inoxidable con capacidad de 600 unidades y así lograr una mejor eficiencia y no tener que estar continuamente incorporando la retribución.

Figura 7. Nuevo sistema de Incentivo



Fuente: (Autores)

**2.2.2 Consideraciones del plástico PET.** El incremento en la industria actual hace que la utilización de los plásticos abarque una gran acogida puesto que se lo utilizan como envase de muchos productos; sin embargo el uso de estos atrae problemas al momento de desecharlos una vez consumido el producto, siendo así necesario conocer su proceso, fabricación y el tratamiento que se lo debe realizar para mitigar las dificultades que estos.

Las botellas que se procedan a reciclar son Tereftalato de polietileno o PET (polyethylene terephthalate) el cual es un plástico termoplástico producto de una reacción entre etilenglicol y el ácido tereftálico, de gran utilización como envases de bebidas.

Figura 8: Marca (*polyethylene terephthalate*) PET



Fuente: (Web1, 2015)

Entre sus características importantes tenemos:

- Tiene alta cristalinidad.
- Es reciclable
- Protege del CO<sub>2</sub> y humedad.
- Resiste la corrosión y el desgaste.
- Se lo puede utilizar como envase de productos alimenticios
- Buena resistencia química y térmica

**2.2.3 Reciclaje de PET.** Debido a los grandes requerimientos de envasado de productos; el requerimiento de PET crece paulatinamente teniendo malas consecuencias ambientales debido a la mala utilización de sus envases una vez consumido el producto. Se conoce que “De las 12 millones de toneladas que se consumen en el mundo, solo se recicla el 20%” (Ecologista, 2015)

El problema radica que los envases luego de usarlos no tienen la correcta disposición ya que se lo pueden encontrar en ríos; contaminado el entorno de muchos seres vivientes del



lugar. Y debido a que su tiempo de degradación es bastante amplia; el problema es de mayor impacto.

Figura 9. Problemática Ecológica.



Fuente: (Ecologista, 2015)

Es por tal motivo que resulta importante tener mecanismos para mitigar la contaminación ambiental, por lo cual se proponen medios de reciclaje de las botellas plásticas. Para así tener una adecuada disposición de los envases plásticos que ya se han utilizado.

La reducción de la contaminación ambiental tiende a seguir la regla de las “3R”

Reducir: Tomar acciones para reducir la cantidad de botellas que produzcan contaminación.

Reutilizar: Se presente tomar decisiones y ponerlas en práctica con ideas de tener otras utilidades a las botellas que ya se han ocupado.

Reciclar: Son conjunto de actividades con las cuales se toman los envases de plásticos utilizados y con una adecuada manufactura introducirlos a obtener productos de una adecuada utilización. (Reciclaje, 2015)

Se tiene diversas utilidades para las botellas plásticas, y con una adecuada modificación y adecuación se lo puede utilizar en diferentes campos como: adornos, muebles, contenedores, etc. Todo con la ayuda de una gran creatividad y la concientización de mitigar la contaminación.

También se puede utilizar las botellas plásticas, para luego de un proceso de manufactura tener otra utilidad, con un adecuado procedimiento.

Tenemos tres formas de utilizar los envases plásticos luego de haberlos utilizado los cuales son: reciclado mecánico, químico o energético (utilizarlo como fuente de energía)

**2.2.3.1 Reciclado mecánico de botellas plásticas.** En este proceso intervienen las etapas de separación del material para luego tener la limpieza y finalmente se procede al molido de los envases plásticos. Algunas etapas se repiten para mejorar la calidad del material con la finalidad de mejorar sus propiedades.

Figura 10. Proceso de Reciclado Mecánico PET



Fuente: (Tecnología de los Plásticos, 2015)

Debido a la reutilización del material sus propiedades cambian del PET virgen con el PET reciclado (RPET), mostramos las siguientes variantes:

Tabla 1. Características del PET y RPET

Propiedad	PET virgen	RPET
Módulo de Young [MPa]	1890	1630
Resistencia a la rotura [MPa]	47	24
Elongación a la rotura [%]	3,2	110
Resistencia al impacto [J m <sup>-1</sup> ]	12	20
IV (dl g <sup>-1</sup> )	0.72 – 0.84	0.46 – 0.76
Temperatura de fusión (°C)	244 – 254	247 – 253
Peso molecular (g mol <sup>-1</sup> )	81600	58400

Fuente: (Tecnología de los Plásticos, 2015)

**2.2.3.2 Reciclado químico de botellas plásticas.** En este tipo de reciclado se utilizan diversos procesos entre ellos tenemos la metanólisis y la glicólisis.

En estos procedimientos el PET se despolimeriza o se descompone, en sus moléculas, para luego otra vez poder fabricar PET, y dependiendo de la calidad y básicamente de la pureza se puede utilizar para envases de alimentos.

Figura 11. Proceso de reciclado químico del PET



Fuente: (Tecnología de los Plásticos, 2015)

En el reciclado químico se tiene los siguientes procesos principales:

*Pirolisis:* Se realiza un calentamiento al vacío para que se tenga el craqueo de las moléculas para así obtener carbón activo.

*Hidrogenación:* Se aplica Calor e hidrogeno a los plásticos para que las cadenas poliméricas se rompan y obtener petróleo sintético.

*Gasificación:* se calienta el plástico con aire u oxígeno, y obtener monóxido de carbono e hidrogeno los cuales se utilizan para la producción de metanol, amoniaco u otros productos que se utilizan en la fabricación de acero en hornos de venteo.

*Chemolysis:* En este procedimiento se aplica poliuretanos, poliacetales, poliésteres y poliamidas. “Consiste en la aplicación de procesos solvolíticos como hidrólisis, glicólisis o alcoholisis para reciclarlos y transformarlos nuevamente en sus monómeros básicos para la repolimerización en nuevos plásticos.”

*Metanólisis:* Se aplica metanol en el PET, para descomponerlo en moléculas como el dimetiltereftalato y el etilenglicol y posteriormente repolimerizar produciendo resina virgen.

**2.2.3.3 Reciclado energético de botellas plásticas.** Este reciclaje se da cuando los envases PET se utilizan como una fuente de combustible alternativo. El PET tiene un poder calórico de 6.3 Kcal/Kg, y la combustión es buena, y las emisiones no son toxicas por lo cual se tiene vapor de agua y bióxido de carbono.

**2.2.4 Principales Aplicaciones del PET reciclado (RPET).** De acuerdo a la calidad del PET reciclado y sus propiedades distintas se puede elaborar los siguientes productos que se presentan:

- Alfombras
- Strapping (Cinta de gran tenacidad)
- Láminas
- Rollos multicapa – extrusión.
- Envases (Solo algunos para alimentos)
- Moldeo a inyección
- Resinas de ingeniería.
- Fibras

## 2.3 Especificaciones

Para el adecuado diseño de un sistema de compactación se presentan diversas alternativas, cada una de ellas presentan sus ventajas y desventajas, y según los requerimientos y disponibilidad se selecciona uno de ellos.

**2.3.1 Diseño Modular.** En esta parte se presenta las diferentes soluciones y consideraciones que puede tener la maquina en su sistema de compactación.

**2.3.1.1 Tambor Fijo y otro Móvil.** Este es un tipo de mecanismo empleado para la compactación de botellas el cual se logra mediante la rotación y presión que ejerce el tambor sobre una superficie estática.



Fuente: (Medina, 7)

### Ventajas

- Reducción de volumen de 8 a 1
- Menor espacio ya que solo emplea un tambor móvil
- Menor Costo de Construcción.
- Menor peso de la máquina.

## Desventajas

- Motor de mayor potencia para mayor fuerza de presión sobre la pared estática.
- El material del tambor fijo debe ser resistente para resistir presión del tambor móvil.
- Mayos costo en el motorreductor.
- Los elementos están sometidos a mayor carga por la fricción con la superficie.

**2.3.1.2 Prensa Vertical.** Un conjunto de botellas son colocadas en un compartimiento que luego es cerrado y con un pistón desplazar, reduciendo el volumen.

Figura 13. Compactadora Hidráulica Vertical



Fuente: (MACFAB, 2011)

## Ventajas

- Fuerzas de compactación elevadas.
- Elimina la necesidad de retirar los tapones de las botellas antes de compactar.
- Adecuado para una cantidad de botellas de plástico de mediana a grande
- Alto índice de compactación

## Desventajas

- Empleada para uso industrial.
- Difícil construcción
- Máquina Costosa
- Debido a los elementos y capacidad son máquinas grandes.
- Requieren una fuente de poder, puede ser hidráulica o una neumática.

**2.3.1.3 Sistema de rodillos en serie.** El Mecanismo consiste en dos rodillos que giran en sentido contrario. La botella ingresa por la abertura que hay entre ellos y son arrastradas gracias a la muesca existente entre los rodillos hacia todo el sistema de compactación.

Pocos son los casos en los que se considera la fricción para el arrastre, ya que el coeficiente de fricción entre el acero y el PET es bajo. Mientras que los rodillos son de caucho macizo, brindan gran coeficiente de fricción entre caucho – PET para así realizar el trabajo de forma adecuada.

Figura 14. Compactación por rodillos en serie



Fuente: (Autores)

### **Ventajas**

- Menor tamaño del sistema de compactación y por ende de la máquina.
- Disminución de los diámetros de los rodillos
- Mejor compactación de las botellas debido al sistema en serie.
- Mayor capacidad de almacenaje debido a la mejor compactación de la botella.
- El material para los rodillos, garantiza un agarre y empuje de la botella adecuado.
- Buena estética y total funcionalidad.

## Desventajas

- Mayor costo por el empleo de varios rodillos
- Demanda de mayor potencia del motor por el sistema empleado.
- Sistema de transmisión más complejo.

**2.3.2 Matriz Morfológica.** La matriz morfológica se le utilizara para observar la secuencia la cual se tendrá el proceso de compactación de las botellas plásticas. Se desglosa los distintos procesos que debe llevar a cabo la máquina.

Tabla 2. Matriz Morfológica de la mejor alternativa.

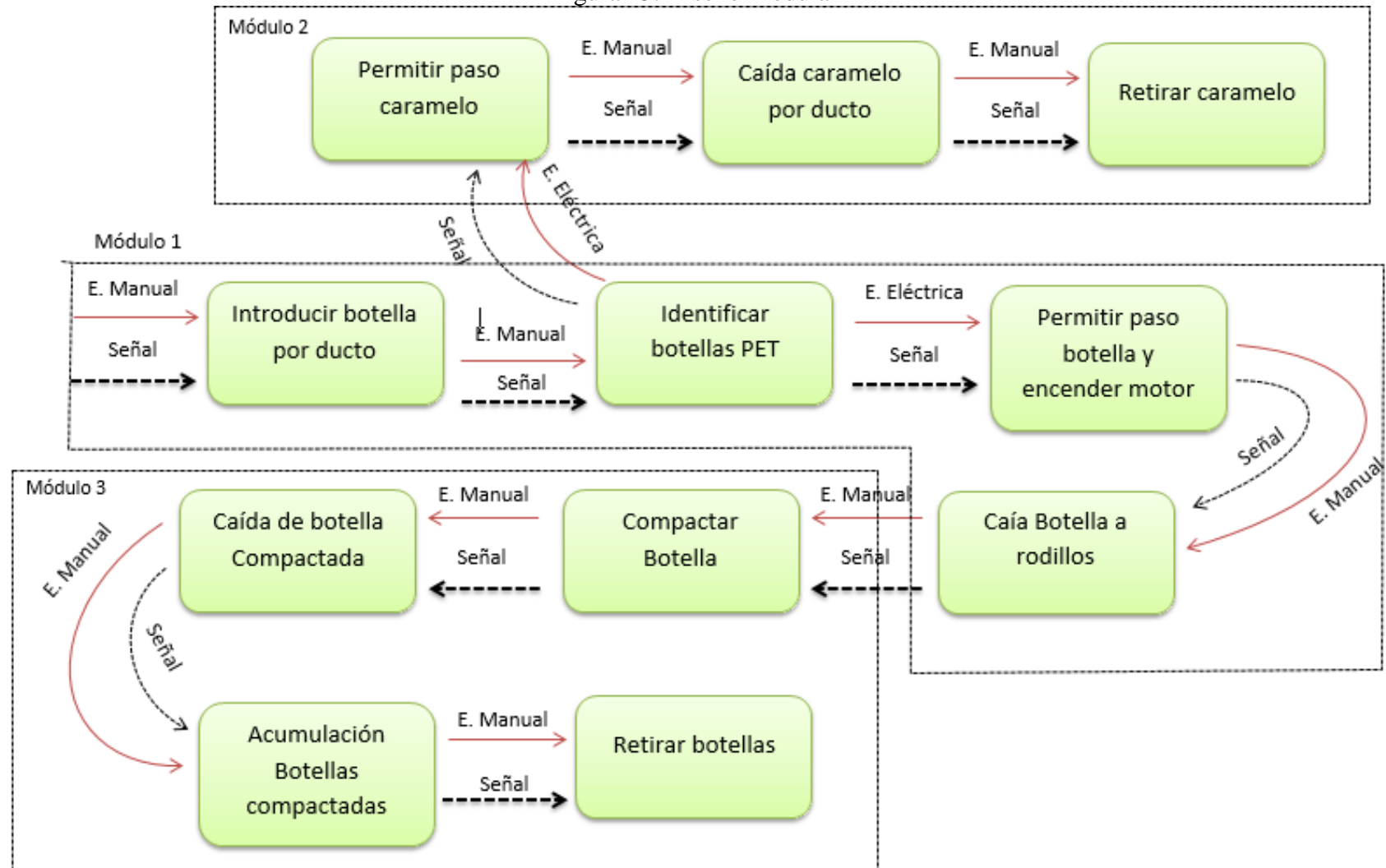
Función	Componente
El usuario consume una botella de 500ml	<pre> graph TD     A[Consumo de botella plástica de 500 ml] --&gt; B[Arrojar la botella por el ducto]     B --&gt; C[Identificación de Botella PET mediante sensor]     C --&gt; D[Compactación mediante tambor]     C --&gt; E[Compactación Mediante Prensa]     C --&gt; F[Compactación mediante rodillos]     D --&gt; G[Compactado]     E --&gt; G     F --&gt; G     G --&gt; H[Retirar la golosina despachada]     H --&gt; I[Retiro de Botellas compactadas]           </pre>
Depositar la botella plástica por el ducto.	
Comprobar botella PET mediante sensores	
Compactación de la botella	
Retirar incentivo	
Retirar acumulación de botellas compactadas.	

Fuente: (Autores)

Con lo cual se escogió que la mejor opción para el sistema de compactación es mediante rodillos, dispuestos en serie, dos en dos.



Figura 15. Diseño Modular



Fuente: (Autores)

## CAPÍTULO III

### 3 REDISEÑO MECÁNICO.

#### 3.2 Experimentaciones

Para tener un mayor conocimiento de las características de la máquina disponible se realizaron varias experimentaciones en su funcionamiento. Así como también la fuerza necesaria que se necesita para comprimir las botellas plásticas de forma adecuada para así tener datos de los requerimientos.

**3.2.1** *Análisis de la funcionalidad del motorreductor y su sistema.* En la máquina que se dispone para el presente proyecto se consideran todos los aspectos de la funcionalidad y uno de los parámetros importantes es el sistema mecánico que consta de un tambor móvil para la compresión el cual es accionado por un motorreductor trifásico de 1/3 Hp.

Figura 16. Funcionalidad del primer motorreductor



Fuente: (Autores)

Sin embargo, luego de ponerlo en funcionamiento presenta ciertas limitaciones al realizar el trabajo de compresión de las botellas plásticas PET, motivo por el cual se hace necesario un motorreductor de mayor potencia, por lo cual para el presente proyecto se debe realizar la selección considerando todos los parámetros necesarios para la adecuada compresión de la botella de plástico. Se utilizará un motorreductor de ½ Hp de potencia con una velocidad de salida de 28 rpm.

**3.2.2 Experimentación de la fuerza de compresión de la tapa de botella tipo PET.** Un parámetro importante es la fuerza con la que se debe comprimir la botella plástica por lo cual se realizaron nuevos ensayos de compresión de las botellas de diversos tipos y formas a involucrarse en el presente trabajo.

En el laboratorio de resistencia de materiales, lugar donde se dispone de la máquina Universal, luego de proceder a realizar múltiples ensayos de compresión con botellas plásticas PET se consiguió extraer los diferentes datos sobre la fuerza necesaria para la compactación.

Figura 17. Ensayo de compresión de las botellas PET en la Máquina Universal.



Fuente: (Autores)

Los datos recolectados se presentan a continuación:

Tabla 3. Propiedades y características de la botella plástica PET de 500 ml

<b>Fuerza de Compresión (N)</b>	3000
<b>Masa (gr)</b>	38
<b>Altura aprox. (mm)</b>	260
<b>Diámetro mayor aprox. (mm)</b>	72
<b>Diámetro tapa (mm)</b>	28

Fuente: (Autores)

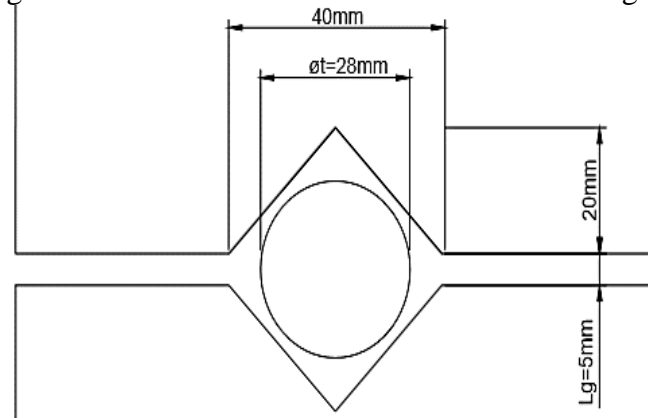
Por lo cual un parámetro de mucha importancia es la fuerza que se utilizó para la compactación y con la cual se desarrollan los diversos cálculos del diseño.

### 3.3 Dimensionamiento de los Cilindros Compactadores

Los cilindros instalados en el sistema de compactación se diseñaron en función de los requerimientos y teniendo en cuenta que se necesita que ocupe el menor espacio posible

**3.3.1 Muestras de Agarre.** Se usa el diámetro de la tapa de las botellas PET que es estándar ya que no varía según la capacidad de los envases. Este diámetro es de 28 mm y la separación entre los bordes exteriores del par de rodillos muestreados es de 5 mm para el compactado primario. Estos cilindros son de mucha importancia ya que es el primer contacto que tiene la botella plástica con el sistema de mecánico de compactación

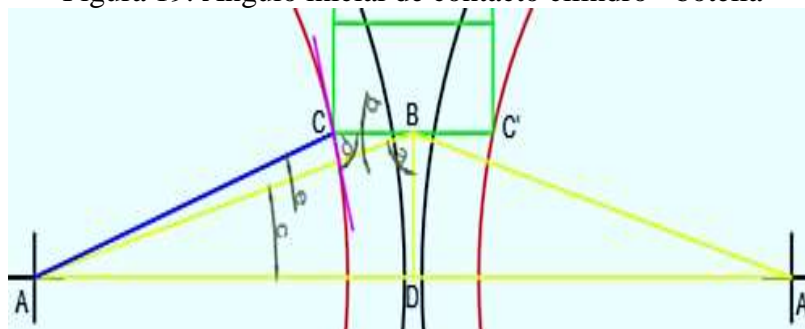
Figura 18. Dimensionamiento de las muescas de agarre.



Fuente: (Autores)

**3.3.2 Cilindros Primarios con muesca.** Estos forman el primer par de cilindros compactadores, los cuales están diseñados para el agarre y empuje de la botella plástica PET. Su ubicación es necesaria para el ingreso adecuado hacia todo el sistema mecánico de compactación para así conseguir el adecuado funcionamiento y proporcionándonos los resultados que nosotros esperamos en la compactación de las botellas plásticas

Figura 19. Ángulo inicial de contacto cilindro - botella



Fuente: (Autores)

Condición de agarre y empuje

$$a + b \geq 90^\circ \quad (1)$$

Geometría de los rodillos

En el triángulo ABD

$$\sin a = \frac{AD}{AB} \quad (2)$$

$$\sin a = \frac{Re.c + \frac{Lg}{2}}{Ri.c + Rt} \quad (3)$$

$$\sin a = \frac{65 \text{ mm} + 2,5 \text{ mm}}{55 \text{ mm} + 14 \text{ mm}}$$

$$a = 80^\circ$$

Suma de ángulos complementarios en el triángulo ABD

$$a + c + 90 = 180 \quad (4)$$

$$c = 10^\circ$$

Ley de los cosenos en el triángulo ACB

$$AC^2 = CB^2 + AB^2 - 2CB \cdot AB \cdot \cos(b) \quad (5)$$

$$\cos(b) = \frac{CB^2 + AB^2 - AC^2}{2CB \cdot AB}$$

$$\cos(b) = \frac{(R_t)^2 + (R_{ic} + R_t - x)^2 - (R_{ic})^2}{2(R_t)(R_{ic} + R_t)}$$

$$\cos(b) = \frac{(14)^2 + (55 + 14 - 1)^2 - (55)^2}{2(14)(55 + 14 - 1)}$$

$$b = 19^\circ$$

Ley del seno

$$\frac{\sin b}{AC} = \frac{\sin e}{CB} \quad (6)$$

$$\frac{\sin b}{Ri.c} = \frac{\sin e}{Rt}$$

$$\frac{\sin 19}{55} = \frac{\sin e}{14}$$

$$e = 4^\circ$$

Por lo que:

$$a + b \geq 90^\circ$$

$$78 + 19 \geq 90^\circ$$

$$97^\circ \geq 90^\circ \quad OK \text{ Cumple la condición}$$

$$\theta = c + e \quad (7)$$

$$\theta = 14^\circ$$

Parámetros de los rodillos primarios con muesca.

Diámetro externo del rodillo o cilindro primario =  $\phi_{ec} = 130 \text{ mm}$

Diámetro interno del rodillo o cilindro primario =  $\phi_{ic} = 110 \text{ mm}$

Diámetro agujero del eje =  $\phi_e = 25,4 \text{ mm}$

Longitud del cilindro compactador con muesca =  $L_c = 120 \text{ mm}$

Material de los rodillos primarios con muesca: Caucho macizo

Coeficiente de rozamiento PET =  $\mu_{PET} = 0,25$

Coeficiente de rozamiento Caucho Macizo =  $\mu_{cm} = 0,50$

Fuerza de compactación =  $F = 3000 \text{ N}$

Velocidad de rotación, tomada en base a requerimiento de alto torque y por el sistema de transmisión diseñado =  $N = 28 \text{ rpm}$

Densidad del material =  $\rho_{cm} = 1200 \text{ Kg/m}^3$

Cálculo del volumen del cilindro con muesca:

$$V_{cm} = \frac{\pi}{4} (\phi_{ec})^2 (L_{cm}) - \frac{b \cdot h}{2} (\phi_{ec}) - \frac{\pi}{4} (\phi_e)^2 (L_{cm}) \quad (8)$$

$$V_{cm} = \frac{\pi}{4} (130 \text{ mm})^2 (120 \text{ mm}) - \frac{(40 \text{ mm})(20 \text{ mm})}{2} (130 \text{ mm}) - \frac{\pi}{4} (25,4 \text{ mm})^2 (120 \text{ mm})$$

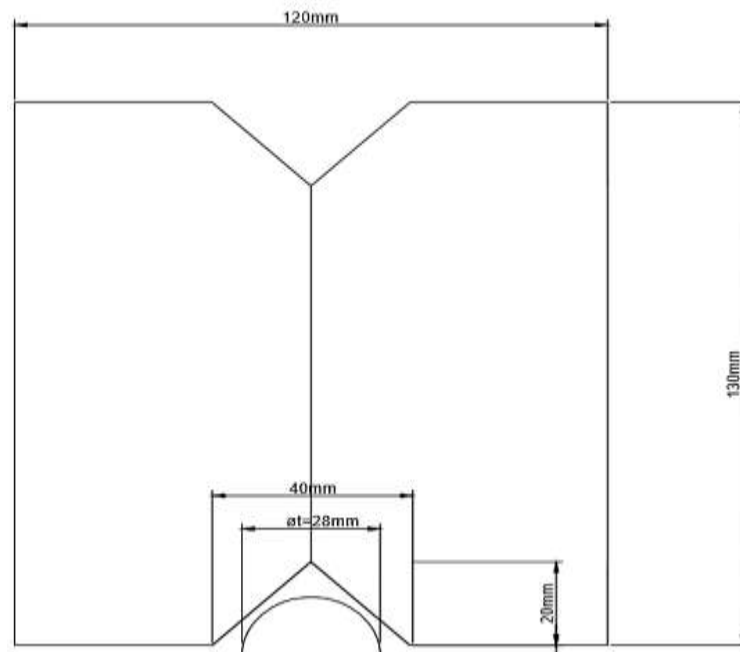
$$V_{cm} = 1479,982 \text{ mm}^3 = 0,001479982 \text{ m}^3$$

Cálculo de la masa del cilindro con muesca:

$$\rho_{cm} = \frac{M_{cm}}{V_{cm}} \quad (9)$$

$$M_{cm} = \left( 1200 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) (0,001479982 \text{ m}^3) = 1,77 \text{ Kg}$$

Figura 20. Dimensionamiento de los cilindros de agarre, empuje y rompimiento.



Fuente: (Autores)

Los restantes cilindros son cuatro, dispuestos dos en dos tienen un diámetro de 120 mm y una longitud de 120 mm.

### 3.3 Potencia Requerida

Puesto que se utilizara para la compresión de las botellas varios cilindros, se tiene que establecer todas las fuerzas y torque que intervienen, y proceder a seleccionar un motorreductor adecuado que trabaje de forma correcta en el sistema de compactación de la máquina.

$$P = T * \omega \quad (10)$$

$$P = F_t * R_{ic} * \omega$$

La velocidad angular requerida, según recomendaciones de aplicación es de 28 rpm, con un ángulo de empuje de  $\theta = 14^\circ$

F = fuerza total para la compresión de la botella = 3000 N

$R_{ic}$  = Radio interno del cilindro en el primer punto de contacto = 55 mm

$$F_t = F * \sin \theta \quad (11)$$

$$F_t = 3000 \text{ N} \cdot \sin(14^\circ) = 725,76 \text{ N}$$

$$F_r = F * \cos \theta \quad (12)$$

$$F_r = 3000 \text{ N} \cos(14^\circ) = 2910,88 \text{ N}$$

#### Torque para la botella

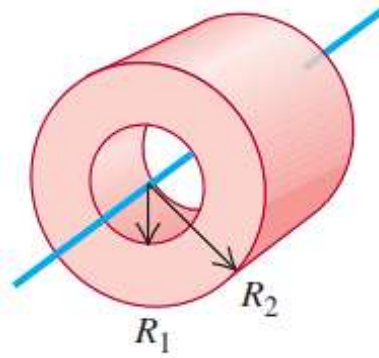
$$T_b = F_t * R_{ic} \quad (13)$$

$$T_b = 725,76 \text{ N} * 55 \text{ mm} = 39916,8 \text{ Nmm}$$

$$T_b = 39916,8 \text{ Nmm}$$



Figura 21. Cilindro de compactación.



Fuente: (Budynas, Nisbett)

### Inercia

Se toma en cuenta el radio interior del rodillo, que en este caso es el radio del eje.

$$\phi_e = 25,4 \text{ mm}$$

$$I = \frac{1}{2} M_{cm} (r_e^2 + R_{ec}^2) \quad (14)$$

$R_e$  = Radio interno = 12,7 mm

$R_{ec}$  = Radio externo = 65 mm

$M_{cm}$  = 1,77 kg

$$I = \frac{1}{2} * 1,77 \text{ kg} * ((12,7 \text{ mm})^2 + (65 \text{ mm})^2)$$

$$I = 3881,86 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$$

Aceleración angular hasta el tiempo de estabilización

$\omega_0$  = velocidad angular inicial = 0 rad/s

$\omega$  = velocidad angular final = 28 rpm = 2,93 rad/s

$t$  = tiempo de estabilización = 3 s

$$\alpha = \frac{\omega}{t} \quad (15)$$

$$\alpha = \frac{2,93 \frac{rad}{s}}{3 s} = 0,977 \frac{rad}{s^2}$$

Torque debido a la Inercia

$$T_I = I * \alpha \quad (16)$$

$$T_I = 3881,86 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2 * 0,977 \frac{rad}{s^2}$$

$$T_I = 3792,57 \frac{\text{kg} * \text{mm}^2}{s^2} = 3,79 \text{ N mm}$$

**Torque debido a la fuerza de fricción**

$$F_f = \mu * N \quad (17)$$

$\mu_{PET}$  = Coeficiente de rozamiento PET = 0,25

$\mu_{cm}$  = Coeficiente de rozamiento Caucho Macizo = 0,50

$\mu$  = Para trabajar con las mayores solicitaciones de carga se toma =  $\mu_{cm}$

$N$  = Fuerza Normal

$F_f$  = Fuerza de fricción

$$N = F_r = 2910,88 \text{ N}$$

$$F_f = 0,5 * 2910,88 \text{ N} = 1455,44 \text{ N}$$

$$T_f = F_f * R_{ic} \quad (18)$$

$$T_f = 1455,44 \text{ N} * 55 \text{ mm} = 80049,20 \text{ N mm}$$

Sumando los requerimientos de torque

$$T = \Sigma T = T_I + T_b + T_f \quad (19)$$

$$T = 3,79 \text{ N mm} + 39916,8 \text{ N mm} + 80049,20 \text{ N mm}$$

$$T = 119\,969,79 \text{ Nmm} = 119,97 \text{ Nm}$$

$$P = T * \omega$$

$$P = 119,97 \text{ N m} * \left(2,93 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right) = 351,51 \text{ W}$$

### 3.4 Selección del Motorreductor

En la selección del motorreductor se considera los siguientes parámetros:

T = Torque necesario = 120 N m

N = Velocidad angular requerida = 28 rpm

P = Potencia necesaria = 351,51 W





$\eta$  = rendimiento = 94%

$$P_{ent} = \frac{P_{sal}}{\eta} \quad (20)$$

$$P_{ent} = \frac{351,51 \text{ W}}{0,94} = 0,37 \text{ W}$$

Con el catalogo “BONFIGLIOLI RIDUTTORI” se selecciona el siguiente motorreductor:

Figura 22. Selección motorreductor

0.37 kW											
$n_2$ min <sup>-1</sup>	M <sub>2</sub> Nm	S	i	R <sub>n2</sub> N							
15.7	210	2.6	87.4	6500	F303_87.4	S1	M1SD4	91	F303_87.4	P71 BN71B4	92
17.8	188	1.3	76.8	4000	F202_76.8	S1	M1SD4	87	F202_76.8	P71 BN71B4	88
21.7	154	0.9	63.0	2800	F102_63.0	S1	M1SD4	83	F102_63.0	P71 BN71B4	84
22.1	152	1.6	61.9	4000	F202_61.9	S1	M1SD4	87	F202_61.9	P71 BN71B4	88
27.0	124	2.0	50.7	3900	F202_50.7	S1	M1SD4	87	F202_50.7	P71 BN71B4	88
28.1	119	1.2	48.7	2800	F102_48.7	S1	M1SD4	83	F102_48.7	P71 BN71B4	84
33	103	2.4	41.8	3700	F202_41.8	S1	M1SD4	87	F202_41.8	P71 BN71B4	88

Fuente: (BONFIGLIOLI RIDUTTORI)

Con las condiciones expuestas se selecciona un motorreductor “Bonfiglioli Riduttori” de 0,37 kW con 28 rpm y torque de 119 N m designado F102\_48.7 S1 M1SD4, con lo cual se cumple con los requerimientos.

### 3.5 Diseño de engranajes rectos

Los engranajes rectos se diseñan considerando todas las cargas expuestas y se verifica su factor de seguridad.

**3.5.1 Diseño Geométrico.** Para estos engranajes se consideran los siguientes datos:

$m$  =Módulo = 2

$\theta_p$  = Ángulo de presión =  $20^\circ$

$C$  =Distancia entre centros = 128 mm

$i$  = Relación de transmisión = 1

$$i = \frac{Z_P}{Z_R} = 1 \quad (21)$$

El número de dientes del engranaje:

$$Z_G = Z_P \quad (22)$$

La distancia entre centros es

$$C = \frac{D_P + D_R}{2} \quad (23)$$

El diámetro de paso para el piñón como para el engranaje es:

$$D = Z * m \quad (24)$$

Reemplazando las ecuaciones: distancia entre centros y diámetro de paso para el piñón, se obtiene el número de dientes del piñón ( $Z_p$ ):

$$C = \frac{Z_P * m + Z_G * m}{2} \quad (25)$$

$$C = \frac{Z_P * m + Z_P * m}{2}$$

$$C = Z_P * m \quad (26)$$

$$Z_P = \frac{C}{m} = \frac{128 \text{ mm}}{2 \text{ mm}} = 64$$

Con este valor se calcula el diámetro de paso del engranaje, como el piñón y la rueda son los mismos, se lo hace para uno de ellos:

$$D = Z_G * m$$

$$D = 64 * 2 \text{ mm} = 128 \text{ mm}$$

Paso circular

$$P_C = \pi * m \quad (27)$$

$$P_C = \pi * 2 \text{ mm} = 6,28 \text{ mm}$$

Espesor del diente

$$e = \frac{P_C}{2} \quad (28)$$

$$e = \frac{6,28}{2} = 3,14 \text{ mm}$$

Altura del diente

$$h = 2,25 * m \quad (29)$$

$$h = 2,25 * 2 \text{ mm} = 4,5 \text{ mm}$$

$$h = 4,5 \text{ mm}$$

Adendum

$$a_C = m \quad (30)$$

$$a_C = 2 \text{ mm}$$

Dedendum

$$a_p = 1,25 * m \quad (31)$$

$$a_p = 1,25 * 2 = 2mm$$

Diámetro exterior

$$D_e = D + 2a_c \quad (32)$$

$$D_e = 128 mm + 2(2 mm) = 132 mm$$

Diámetro base piñón

$$D_b = D * \cos(\theta) \quad (33)$$

$$D_b = 128 mm * \cos(20) = 120,28 mm$$

Claro

$$c = 0,25 * m \quad (34)$$

$$c = 0,25 * 2 = 0,5 mm$$

Ancho del engrane

$$8 * m < F < 16 * m \quad (35)$$

$$16 mm < F < 32 mm$$

$$F = 24 mm$$

Relación de contacto

$$R_c = \frac{Z}{P_c * \cos(\theta)} \quad (36)$$

Longitud de la línea de presión

$$Z = (r_{ap}^2 - r_{bp}^2)^{0,5} + (r_{aR}^2 - r_{bR}^2)^{0,5} - c * \sin(\theta) \quad (37)$$

$$r_{ap} = \frac{D_{ep}}{2} \quad (38)$$

$$r_{ap} = \frac{132}{2} = 66 \text{ mm}$$

$$r_{aR} = \frac{D_{eR}}{2} \quad (39)$$

$$r_{aR} = \frac{132}{2} = 66 \text{ mm}$$

$$r_{bp} = \frac{D_{bp}}{2} \quad (40)$$

$$r_{bp} = \frac{120,28}{2} = 60,14 \text{ mm}$$

$$r_{bR} = \frac{D_{bR}}{2} \quad (41)$$

$$r_{bR} = \frac{120,28}{2} = 60,14 \text{ mm}$$

$$Z = ((66 \text{ mm})^2 - (60,14 \text{ mm})^2)^{0,5} + ((66 \text{ mm})^2 - (60,14 \text{ mm})^2)^{0,5} - 128 \text{ mm} * \sin(20)$$

$$Z = 10,60 \text{ mm}$$

$$R_c = \frac{Z}{P_c * \cos(\theta)}$$

$$R_c = \frac{10,60 \text{ mm}}{6,28 \text{ mm} * \cos(20)} = 1,796$$

$$R_c = 1,796$$

**3.5.2 Esfuerzo de trabajo por flexión.** Se procede a verificar la resistencia del engranaje a esfuerzos por flexión por lo cual se considera la potencia, velocidad angular y otros factores.

$$T = \frac{P}{\omega_p}$$

$$T = \frac{373 \text{ W}}{2,93 \text{ rad/s}} = 127,3 \text{ Nm}$$

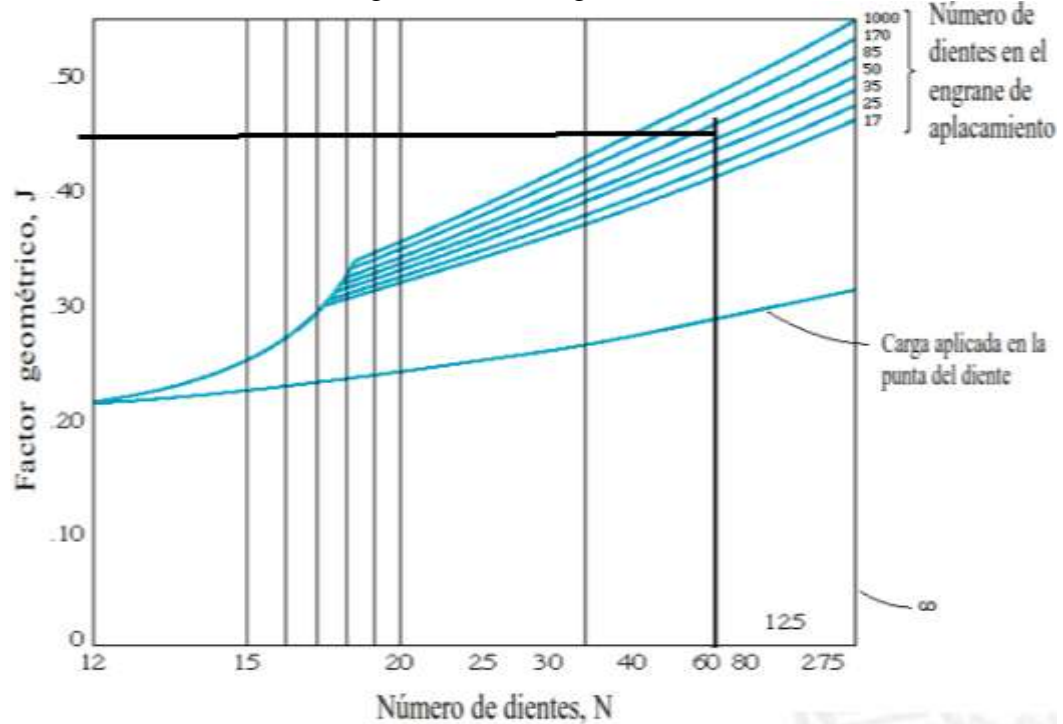
$$W_t = \frac{2 * T}{D_p} \quad (42)$$

$$W_t = \frac{2 * 127,3 \text{ Nm}}{0,128 \text{ m}} = 1989,06 \text{ N}$$

- **Factor geométrico**

$$J_p = 0,45$$

Figura 23. Factor geométrico.



Fuente: (Engranes, Diseño)



- **Factor dinámico  $K_v$**

Encontramos la velocidad de trabajo para esta tabla

$$V = \omega_p * r \quad (43)$$

$$V = 2,93 \frac{rad}{s} * \frac{128}{2} mm = 188 \frac{mm}{s}$$

$$V = 188 \frac{mm}{s} = 36,91 fpm$$

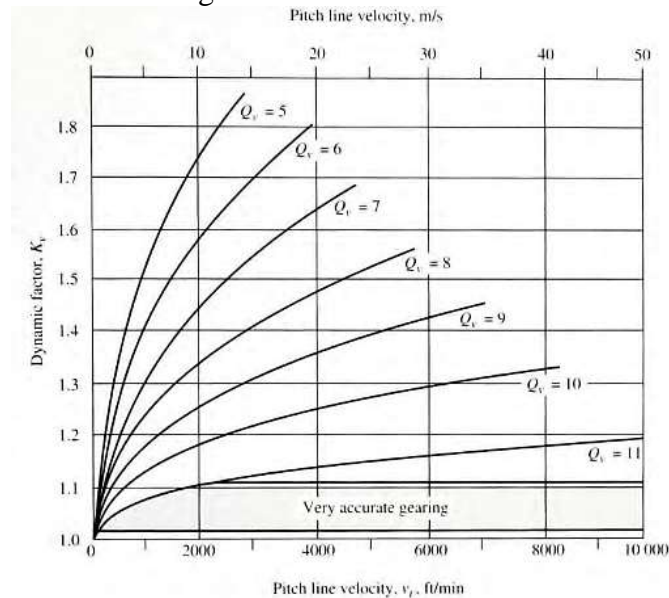
Tabla 4. Índice de calidad.

Velocidad (fpm)	Índice de Calidad
0-800	6-8
800-2000	8-10
2000-4000	10-12
Sobre los 4000	12-14

Fuente: (Engranes, Diseño)

Y con la cual tenemos un índice de calidad de  $= Q_v = 6$ . Y posteriormente encontramos el factor dinámico.

Figura 24. Factor Dinámico.



Fuente: (Mott, 2004)

$$K_v = 1,02$$

- **Factor de distribución de carga  $K_m$**

Tabla 5. Distribución de carga.

F en pulg. (mm)	Factor $K_m$
< 2 (50)	1,6
Hasta 6 (150)	1,7
Hasta 9 (230)	1,8
>20 (500)	2,0

Fuente: (Engranes, Diseño)

$$K_m = 1,6$$

- **Factor de aplicación  $K_a$**

Tabla 6. Factor de Aplicación.

Máquina conductora	Máquina conducida		
	Uniforme	Choque moderado	Choque pesado
Uniforme: motor eléctrico, turbina, etc.	1,0	1,25	1,75 ó mayor
Carga ligera: máquinas multicilíndricas	1,25	1,50	2,00 ó mayor
Choque medio: máquinas de cilindro simple.	1,50	1,75	2,25 ó mayor

Fuente: (Engranes, Diseño)

$$K_a = 1,25$$

- **Factor de espesor del rim  $K_b$ : Por ser disco sólido**

$$K_b = 1$$

- **Factor de tamaño  $K_s$**

Tabla 7. Factor por Tamaño.

Diametral pitch. $P_d$	Módulo métrico. m	Factor de tamaño. $K_v$
$\geq 5$	$\leq 5$	1,00
4	6	1,05
3	8	1,15
2	12	1,25
1,25	20	1,40

Fuente: (Mott, 2004)

$$K_s = 1$$

Finalmente el esfuerzo en el piñón se calcula por la siguiente ecuación:

$$\sigma_{Fp} = \frac{W_t * K_a * K_s * K_b * K_m * K_v}{F * m * J_p} \quad (44)$$

$$\sigma_{Fp} = \frac{1989,06 \text{ N} (1,25)(1)(1)(1,6)(1,02)}{24 \text{ mm} * 2 \text{ mm} * 0.45} = 187,86 \text{ MPa}$$

El material seleccionado para el piñón y el engranaje del sistema de compactación es un acero 1045 templado y revenido 600 °F

$$S_{ut} = S_c = 1580 \text{ MPa}$$

$$S_y = S_t = 1520 \text{ MPa}$$

#### ***Esfuerzo Admisible***

$$\sigma_{F(adm)} = \frac{K_L}{K_T * K_R} (S_t) \quad (45)$$

- **Factor de temperatura  $K_T$ :** Por condiciones normales de ambiente

$$K_T = 1$$

- **Factor por confiabilidad  $K_R$ :** Con una confiabilidad de diseño de 99%

Tabla 8. Factor por Confiabilidad.

Confiabilidad (%)	Factor $K_R$
90	0,85
99	1,00
99,9	1,25
99,99	1,50

Fuente: (Engranes, Diseño)

$$K_R = 1,0$$

- **Factor por ciclo de esfuerzo  $K_L$ :** Se necesita saber el número de ciclos de carga ( $N_c$ )

$$N_c = (60)(L)(n)(q) \quad (46)$$

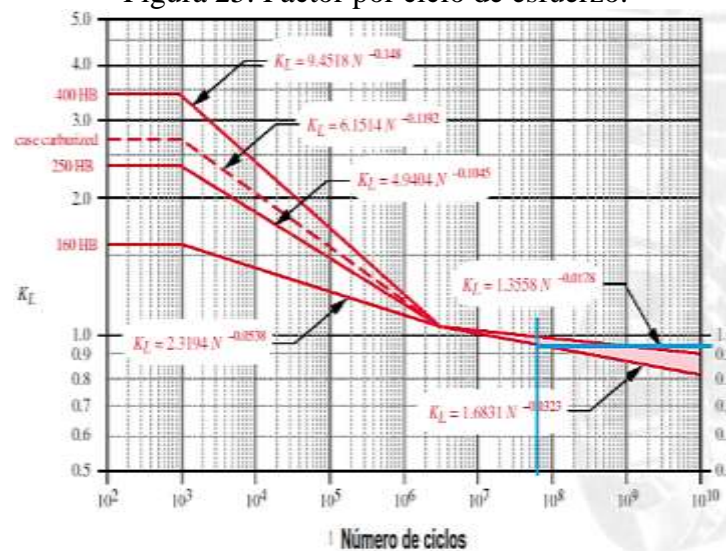
$$L = 30000$$

$$n = 28 \text{ rpm}$$

$$q = 1$$

$$N_c = (60)(30000)(28)(1) = 5,04 * 10^7 \text{ ciclos}$$

Figura 25. Factor por ciclo de esfuerzo.



Fuente: (Engranes, Diseño)

$$K_L = 0,95$$

$$\sigma_{F(adm)} = \frac{0,95}{(1) * (1)} * 1520 \text{ MPa} = 1444 \text{ MPa}$$

**Eficiencia de Flexión Piñón:**

$$n_p = \frac{\sigma_{F(adm)}}{\sigma_{Fp}} \quad (47)$$

$$n_p = \frac{1444}{187,86} = 7,7$$

**3.5.3 Esfuerzo de trabajo por contacto.** Para este parámetro se calculan los factores que alteran la funcionalidad, los cuales se calculan mediante fórmulas y tablas que se presentan a continuación.

$$\sigma_c = Cp * \sqrt{\frac{W_t * C_a * C_s * C_f * C_m * C_v}{F * Dp * I}} \quad (48)$$

Donde:

- **Coficiente elástico Cp**

$$Cp = \left[ \frac{1}{\pi \left( \frac{(1 - \nu_p)^2}{Ep} + \frac{(1 - \nu_r)^2}{Er} \right)} \right]^{0,5} \quad (49)$$

Tabla 9. Coficiente de Poisson.

	<b>E (Mpa)</b>	<b>ν</b>
Acero al carbono	206800	0,28
Fundición gris	103400	0,28
Bronce	110300	0,33
Aluminio	71700	0,34
Acero inox.	189600	0,28

Fuente: (Web2, 2015)

$$Cp = \left[ \frac{1}{\pi \left( \frac{(1 - 0,28)^2}{206800} + \frac{(1 - 0,28)^2}{206800} \right)} \right]^{0,5}$$

$$Cp = 189 (MPa)^{0,5}$$

- **Factor geométrico**

$$I = \frac{\cos(\theta)}{Dp \left( \frac{1}{\rho_p} + \frac{1}{\rho_r} \right)} \quad (50)$$

El factor geométrico depende de los radios de curvatura de los dientes del piñón y rueda, siendo estas:

Piñón:

$$\rho_p = \sqrt{\left[\frac{Dp}{2} + \frac{m}{25,4}\right]^2 - \left(Dp * \frac{\cos(\theta)}{2}\right)^2} - \frac{\pi * m * \cos(\theta)}{25,4} \quad (51)$$

$$\rho_p = \sqrt{\left[\frac{128 \text{ mm}}{2} + \frac{2 \text{ mm}}{25,4}\right]^2 - \left(128 \text{ mm} * \frac{\cos(20)}{2}\right)^2} - \frac{\pi * 2 \text{ mm} * \cos(20)}{25,4}$$

$$\rho_p = 21,89 \text{ mm}$$

Rueda:

$$\rho_r = C \sin(\theta) + \rho_p \quad (52)$$

$$\rho_r = 128 \text{ mm} \sin(20) + 21,89 \text{ mm}$$

$$\rho_r = 65,67 \text{ mm}$$

Reemplazando en la ecuación (50), se tiene:

$$I = \frac{\cos(20)}{128 \text{ mm} \left( \frac{1}{21,89 \text{ mm}} + \frac{1}{65,67 \text{ mm}} \right)}$$

$$I = 0,12$$

Obteniendo así el esfuerzo por contacto:

$$\sigma_c = 189 \text{ (MPa)}^{0,5} * \sqrt{\frac{1989,06 \text{ [N]}(1,25)(1)(1)(1,6)(1,02)}{24 \text{ mm} * 128 \text{ mm} * 0,12}}$$

$$\sigma_c = 627,05 \text{ MPa}$$

Se calcula el esfuerzo por contacto admisible

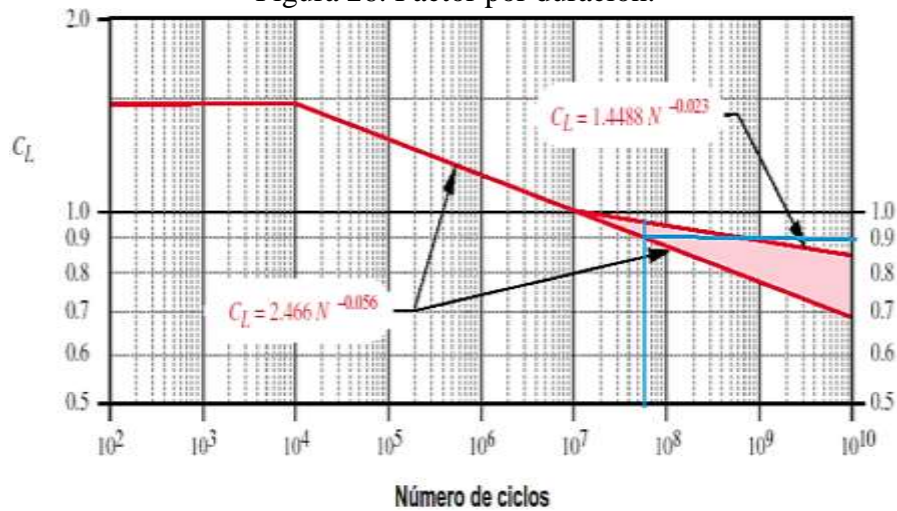
$$C_H = 1$$

$$C_T = 1$$

$$C_R = 1,25$$

$$C_L = 0,9$$

Figura 26. Factor por duración.



Fuente: (Engranes, Diseño)

**Esfuerzo de Contacto Admisible.**

$$\sigma_{c(adm)} = \frac{C_L C_H}{C_T C_R} S_c \quad (53)$$

$$\sigma_{c(adm)} = \frac{(0,9)(1)}{(1)(1)} 1580 \text{ MPa} = 1422 \text{ Mpa}$$

**Eficiencia del Piñón por contacto.**

$$n_p = \frac{\sigma_{c(adm)}}{\sigma_{Fg}} \quad (54)$$

$$n_p = \frac{1422}{627,05} = 2,27$$

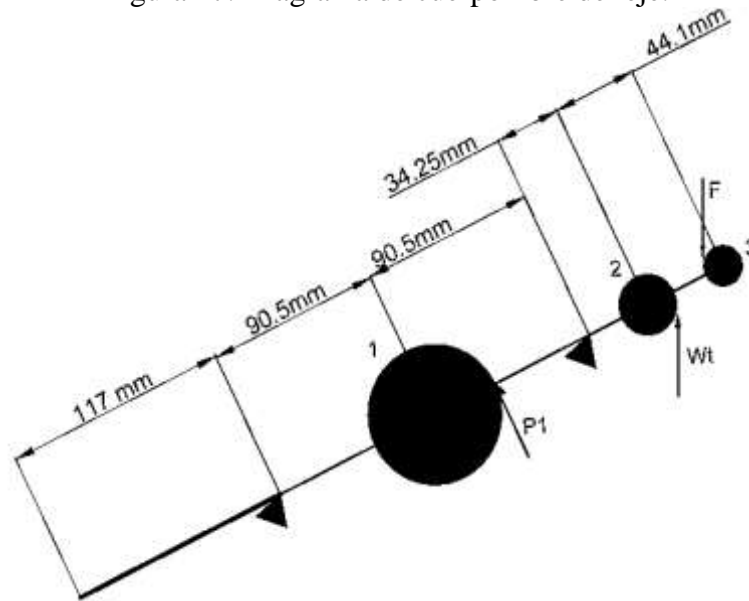
Con lo cual se tiene una eficiencia aceptable en el diseño.

### 3.6 Diseño del eje

Al momento de diseñar el eje se consideran todos los elementos que se van a montar sobre él y todos los esfuerzos que tiene que soportar.

#### 3.6.1 Análisis de Cargas

Figura 27. Diagrama de cuerpo libre del eje.



Fuente: (Autores)

Datos:

$$P = 373 \text{ W}$$

$$\omega = 2.93 \text{ rad/s}$$

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{373 \text{ W}}{2.93 \text{ rad/s}} = 127,3 \text{ Nm}$$

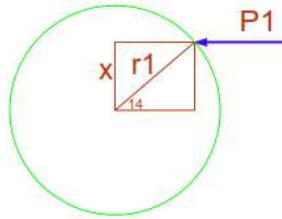
- **Cilindro 1**

$$r_1 = 55 \text{ mm}$$

$$F_f = P1 = 1500 \text{ N}$$



Figura 28. Diagrama de cuerpo libre cilindro 1.



Fuente: (Autores)

$$\sin 14 = \frac{x}{r1} \quad (55)$$

$$x = 13,30 \text{ mm}$$

$$T = P1 * x \quad (56)$$

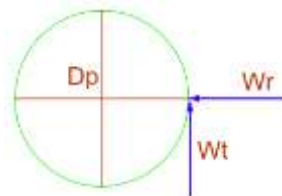
$$T = 19.95 \text{ Nm}$$

- **Engrane 2**

$$Dp = 128 \text{ mm}$$

$$T_2 = 18 \text{ Nm}$$

Figura 29. Diagrama de cuerpo libre engrane 2.



Fuente: (Autores)

$$Wt = \frac{2 T}{Dp} \quad (57)$$

$$Wt = \frac{2 \times 18 \text{ N.m}}{0.128 \text{ m}} = 281.25 \text{ N}$$

$$Wr = Wt * \tan 20^\circ \quad (58)$$

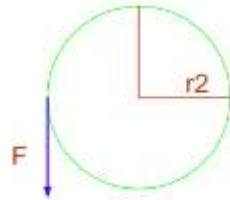
$$Wr = 102.37 \text{ N}$$

- **Catalina 3**

$$r_2 = 29 \text{ mm} = 0.029 \text{ m}$$

$$T_3 = 89,35 \text{ N.m}$$

Figura 30. Diagrama de cuerpo libre catalina 3.



Fuente: (Autores)

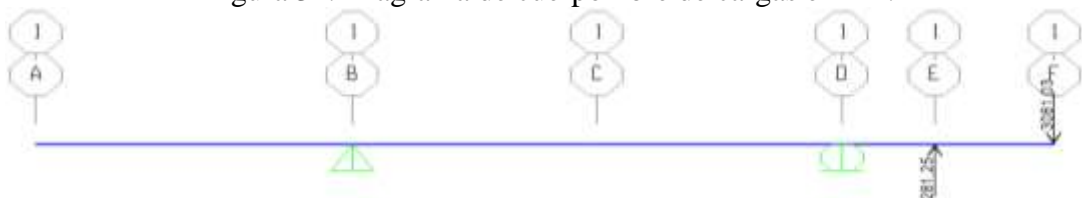
$$T = F * r_2 \quad (59)$$

$$F = \frac{89,35 \text{ Nm}}{0.029 \text{ m}} = 3081,03 \text{ N}$$

Usando el software SAP 2000, se tiene el análisis de las siguientes cargas.

*Cargas Plano ZX*

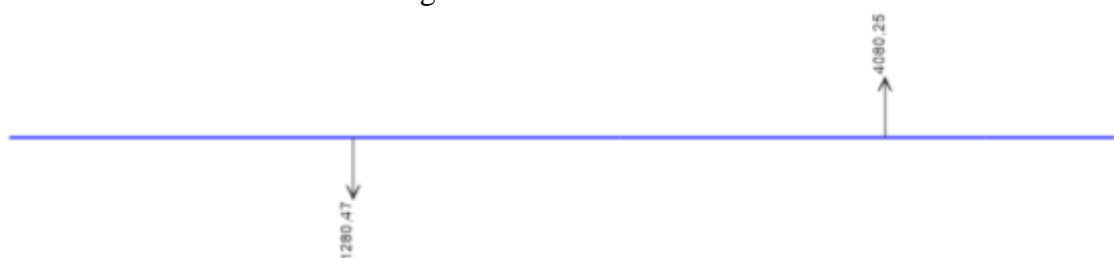
Figura 31. Diagrama de cuerpo libre de cargas en ZX.



Fuente: (Autores)

## Reacciones

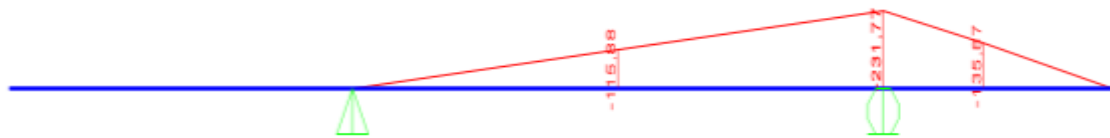
Figura 32. Reacciones ZX



Fuente: (Autores)

## Diagrama de Momentos

Figura 33. Diagrama de momentos ZX.



Fuente: (Autores)

Valor de Momentos Preponderantes

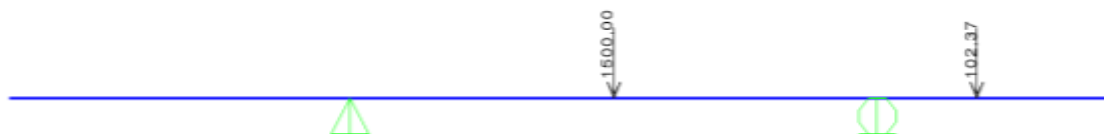
$$MC' = 115,88 \text{ Nm}$$

$$MD' = 231,77 \text{ Nm}$$

$$ME' = 135,87 \text{ Nm}$$

*Cargas Plano XY*

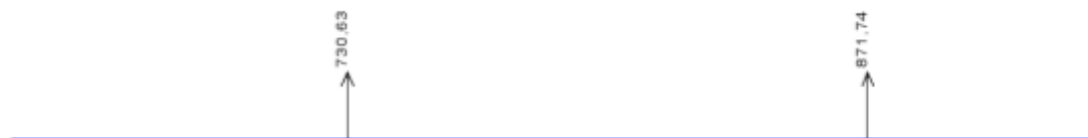
Figura 34. Diagrama de cuerpo libre de cargas en XY



Fuente: (Autores)

Reacciones

Figura 35. Reacciones XY



Fuente: (Autores)

Diagrama de Momentos

Figura 36. Diagrama de momentos XY



Fuente: (Autores)

Valores de Momentos Preponderantes

$$MC'' = 66,12 \text{ Nm}$$

$$MD'' = 3,51 \text{ Nm}$$

$$ME'' = 0 \text{ Nm}$$

Cálculo de Momentos Resultantes:

$$MR = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} \quad (60)$$

$$MC = \sqrt{115,88^2 + 66,12^2} = 133,42 \text{ Nm}$$

$$MD = \sqrt{231,77^2 + 3,51^2} = 231,8 \text{ Nm}$$

$$ME = \sqrt{135,87^2 + 0^2} = 135,87 \text{ Nm}$$

$$MD = 231,8 \text{ Nm} \quad \text{Controla el diseño}$$

Por lo que se diseña en el punto B

### 3.6.2 Análisis por Fatiga

Consideraciones para primera iteración

$$K_t = 1$$

$$K_{ts} = 1$$

$$q_f = 1$$

$$q_t = 1$$

$$K_f = 1 + q_f(K_t - 1) \quad (61)$$

$$K_{fs} = 1 + q_t(K_{ts} - 1) \quad (62)$$

$$K_f = 1$$

$$K_{fs} = 1$$

$$Se = k Se' \quad (63)$$

Dónde:

$$K = 0.5 \quad * \text{Asumido}$$

Con un acero 1050 templado y revenido a 1200 °F

$$S_y = 538 \text{ MPa}$$

$$S_u = 717 \text{ MPa}$$

$$Se' = 0.5 Sut \quad (64)$$

$$Se' = 0.5 * 717 \text{ MPa} = 358.5 \text{ MPa}$$

$$Se = k * Se' \quad (65)$$

$$Se = 179.25 \text{ MPa}$$

Determinación del diámetro tentativo

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 * n}{\pi} \sqrt{4 \left( \frac{K_f * M}{Se} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} * T}{S_y} \right)^2}} \quad (66)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 * 1,2}{\pi} \sqrt{4 \left( \frac{231,8 \text{ N.m}}{179.25 * 10^6 \text{ N/m}^2} \right)^2 + 3 \left( \frac{127,3 \text{ N.m}}{538 * 10^6 \text{ N/m}^2} \right)^2}}$$

$$d = 0.0252 \text{ m} = 25.2 \text{ mm}$$

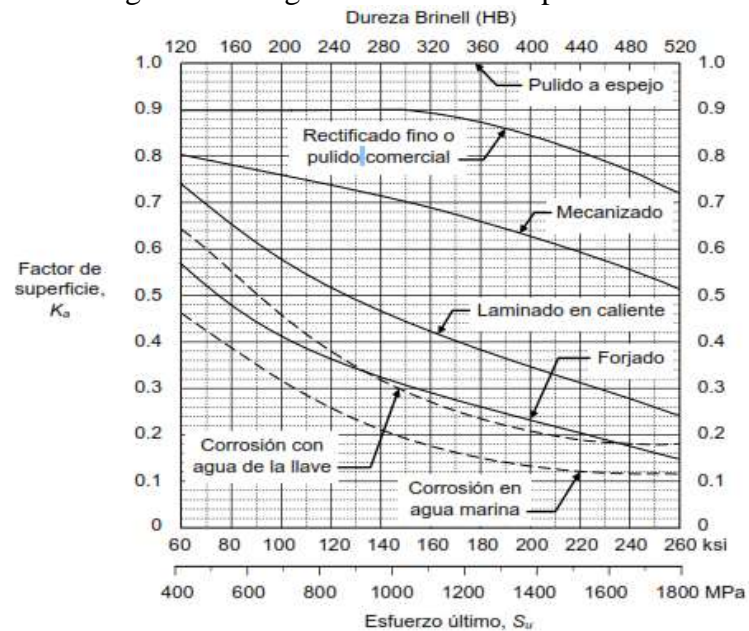
Diámetro Comercial: 25.4 mm = 1 pulgada

Re-cálculo de factor de concentración de Esfuerzos k

$$K = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_{carga} \quad (67)$$

- **Estado Superficial  $K_a$**

Figura 37. Diagrama de estados superficiales



Fuente: (Vanegas, 2009)

Puesto que es un eje mecanizado:

$$k_a = 0.79$$

- **Tamaño de la pieza  $k_b$**

$$k_b = 1,189 * de^{-0.097} \quad \text{si } 8mm < de \leq 250mm \quad (68)$$

$$k_b = 0.87$$

- **Confiabilidad  $k_c$**

Tabla 10. Confiabilidad

Confiabilidad (%)	50	90	99	99,9	99,99	99,999
$K_c$	1	0,897	0,814	0,753	0,702	0,659

Fuente: (Vanegas, 2009)

Se trabaja con una confiabilidad del 99 %

$$k_c = 0.814$$

- **Temperatura  $k_d$**

$$k_d = 1$$

- **Efectos Varios:  $k_e$**

$$k_e = 1$$

- **Tipo de carga:  $k_{carga}$**

$$k_{carga} = 1$$

Por lo cual reemplazando se tiene:

$$k = 0.79 * 0.87 * 0.814 * 1 * 1 * 1 = 0.56$$

$$K = 0.56$$

$$Se = 0.56 * 358.5 \text{ MPa}$$

$$Se = 200.76 \text{ MPa}$$

Comprobación del factor de Seguridad

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi * d} \sqrt{4 \left( \frac{k_f * M}{Se} \right)^2 + 3 \left( \frac{k_{fs} * T}{Sy} \right)^2} \quad (69)$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi * (0.0254 \text{ m})^3} \sqrt{4 \left( \frac{231.8 \text{ Nm}}{200.76 * 10^6 * \frac{N}{m^2}} \right)^2 + 3 \left( \frac{127.3 \text{ Nm}}{538 * 10^6 * \frac{N}{m^2}} \right)^2}$$

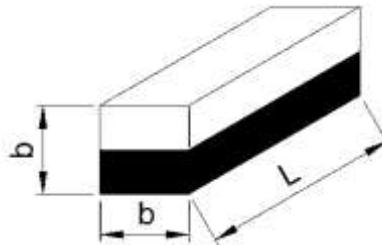
$$n = 1,37 \quad \text{Resiste}$$

Este factor de seguridad es aceptable por lo cual el diseño del eje es el correcto.

### 3.7 Diseño de chavetas

*Asumir Chaveta Cuadrada*

Figura 38. Chaveta cuadrada



Fuente: (Autores)

Con el diámetro del eje mediante tabla se elige:

$$S_y = 538 \text{ MPa}$$

$$L = 25 \text{ mm}$$

$$b = 8 \text{ mm}$$

Tabla 11. Proporciones para chavetas paralelas estándares.

Diámetro del eje (mm) hasta e incluido	Sección transversal clave	
	Ancho (mm)	Espesor (mm)
6	2	2
8	3	3
10	4	4
12	5	5
17	6	6
22	8	7
30	10	8

Fuente: (Khurmi, 2005)

$$\frac{S_y}{n} = \frac{\sqrt{3} * T}{\sqrt{2} * b * L * d} \quad (70)$$

$$n = \frac{\sqrt{2} * 0.025 \text{ m} * 0.008 * 0.0254 * 538 * 10^6 \text{ N/m}^2}{\sqrt{3} * 127.3 \text{ Nm}}$$

$$n = 17.5$$



### 3.8 Selección de cadena

Puesto que en la catalina o punto F se necesita 72 N m para poner en funcionamiento el sistema restante y no 89,35 N m se trabaja solo con el necesario.

$$T = 72 \text{ N m}$$

$$t = 14 \text{ h de funcionamiento}$$

$$\omega = 28 \text{ rpm} = 2,93 \text{ rad/s}$$

$$i = 1$$

$$\text{Número de hileras} = 1$$

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = 72 \text{ N m} * 2,93 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 211 \text{ W} = 0,28 \text{ Hp}$$

- **Factor de servicio c**

Tabla 12. Factor de Servicio

Maquinaria	Factor de servicio	
Carga Uniforme, sin inversión	1,0	1,0
Carga pulsante moderada, sin inversión	1,2	1,3
Carga variable o de grave impacto, con inversión	1,4	1,5

Fuente: (Rexnord, 2009)

$$c = 1.5$$

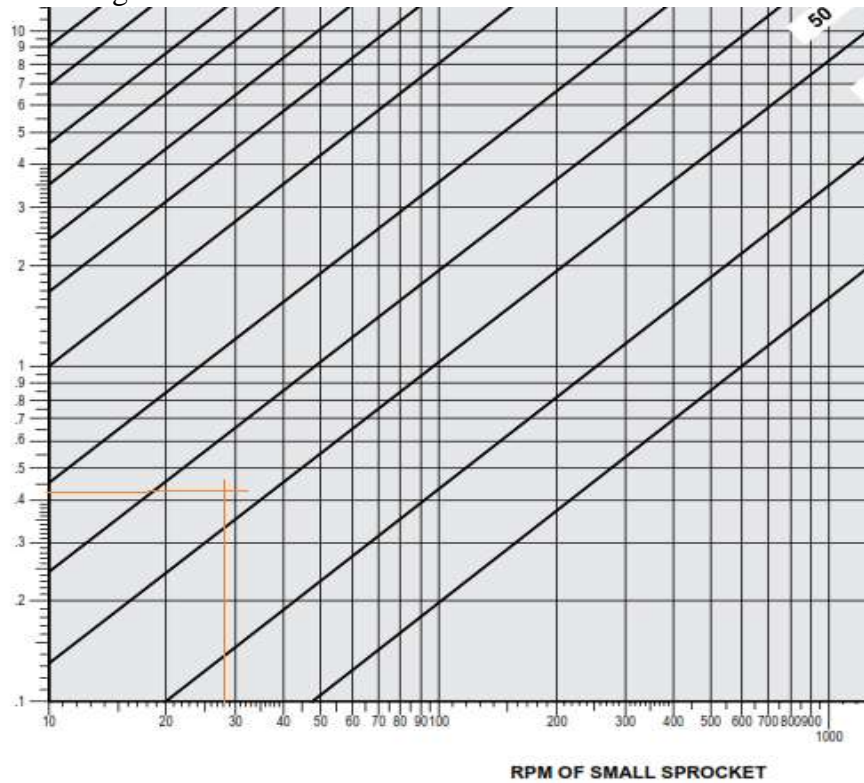
Corrección de Potencia de Diseño:

$$P_D = P \cdot c \quad (71)$$

$$P_D = 0.28 \text{ Hp} * (1,5) = 0.42 \text{ Hp}$$

Con la potencia de diseño, el número de hileras y la velocidad angular en la rueda pequeña se selecciona el tipo de cadena según la siguiente figura:

Figura 39. Selección del número de serie de la cadena.



Fuente: (Rexnord, 2009)

Se selecciona: #50

$Z = 17$

Tabla 13. Potencia Admisible

Numero de dientes, en la pequeña rueda dentada	Diámetro máximo en pulg.	50	100
11	0,969	0,45	0,84
12	1,125	0,49	0,92
13	1,313	0,54	1,00
14	1,438	0,58	1,09
15	1,625	0,63	1,17

Fuente: (Rexnord, 2009)

Tabla 14. Extrapolación

28	50	100
X	0.63	1.17

Fuente: (Autores)

$x = 0.5364 Hp$

Factor de seguridad para los dientes

$$\eta_s = \frac{0.5364 Hp}{0.42 Hp} = 1.3$$

Cálculo del diámetro de la corona o catalina

$$Dc = \frac{3/4}{\sin\left(\frac{180}{z}\right)} \quad (72)$$

$$Dc = \frac{3/4}{\sin\left(\frac{180}{15}\right)} = 3.6in$$

Distancia entre centros mínima:

$$d = D \quad (73)$$

$$A_{\min} \geq \frac{d}{2} + D \quad (74)$$

$$A_{\min} = 1.5D = 1.5(3.6 in) = 5.4 in = 137 mm$$

Número de pasos

$$\#p = \frac{2a}{p} + \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{4\pi^2 \cdot a} * p \quad (75)$$

$$A = a \quad (76)$$

$$\#p = \frac{2(5.4 in)}{\frac{5}{8} in} + \frac{15 + 15}{2} + \frac{(15 - 15)^2}{4\pi^2 * 5.4 in} * \frac{5}{8} in = 32$$

Longitud de la cadena

$$Lc = \#p * p \quad (77)$$

$$Lc = \frac{32 \times 5}{8} = 20 \text{ in}$$

Factor A

$$A = \frac{Z_1 + Z_2}{2} - \# \text{ pasos} \quad (78)$$

$$A = \frac{17 + 17}{2} - 32 = -17$$

Factor E

$$E = \frac{P}{4} \left[ -A + \sqrt{A^2 - 8 \left( \frac{Z_2 - Z_1}{2\pi} \right)^2} \right] \quad (79)$$

$$E = \frac{32}{4} \left[ -(-17) + \sqrt{(-17)^2 - 8 \left( \frac{17 - 17}{2\pi} \right)^2} \right]$$

$$E = 5.31 \text{ in} = 134.9 \text{ mm} \text{ ok cumple}$$

Ángulo de contacto

$$\alpha \geq 180^\circ - 57 \left( \frac{D - d}{E} \right) \quad (80)$$

$$\alpha = 180^\circ \text{ ok}$$

Velocidad

$$s = \frac{Z * p * n}{12} \quad (81)$$

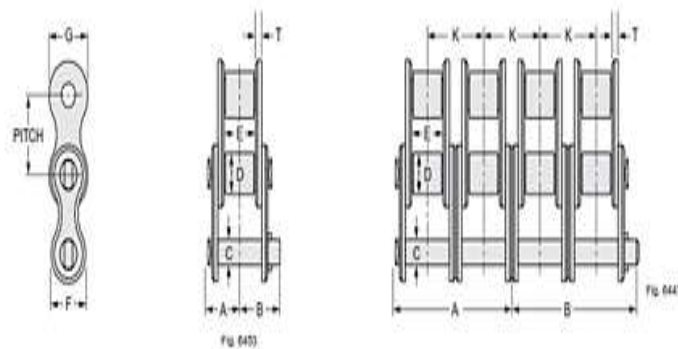
$$s = \frac{15 * 5 * 28}{8 * 12} = 21.875 \text{ ft/min}$$

Fuerza requerida

$$F = \frac{P}{s} \quad (82)$$

$$F = \frac{0.42 \text{ Hp}}{21.875 \text{ ft/min}} * 33000 = 633.6 \text{ lbf}$$

Figura 40. Parámetros de la cadena  
No. 50 chain • .625" pitch



Specifications and dimensions

Chain number	Chain width, number of strands	Average ultimate strength, pounds	Joint bearing area Sq. in.	Weight per foot, pounds	Dimensions, inches								
					A	B	C	D	E	F	G	K	T
50	Single	6100	.108	.70	.41	.48							
50.2	Double	12200	.216	1.40	.76	.81							

Fuente: (Rexnord, 2009)

Factor de seguridad

$$Fs = \frac{U}{F} \quad (83)$$

Catálogo:  $U = 6100 \text{ lbf}$

$$Fs = \frac{6100 \text{ lbf}}{633.6 \text{ lbf}} = 9,6 \quad \text{Ok cumple}$$

Ciclos de vida

C= Numero de catalinas en contacto

$$if = \frac{2 C * Z1 * n1}{60 * \# pasos} \quad (84)$$

$$if = \frac{2(2) * 15 * 28}{60 * 32} = 0.875 \frac{rev}{seg}$$

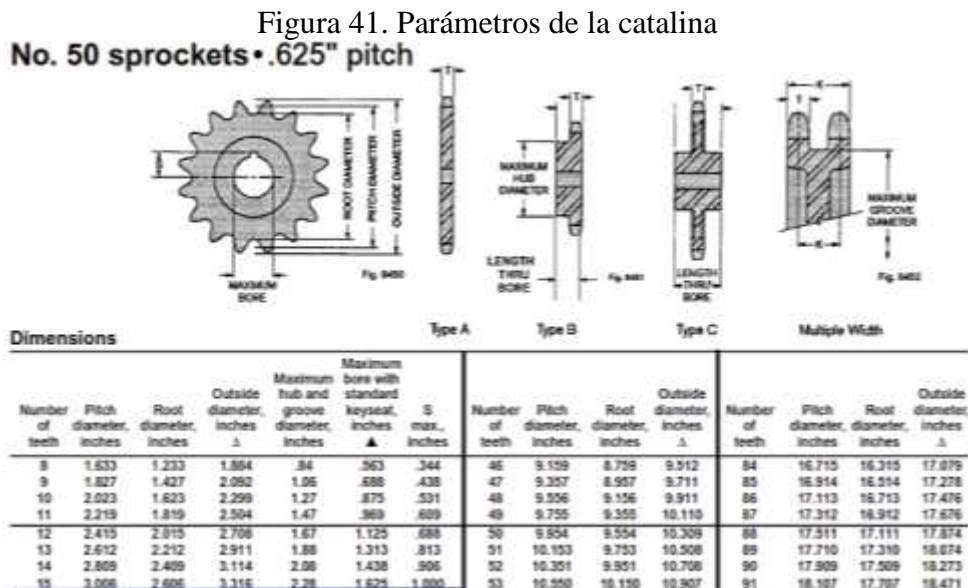
Ciclos de vida de tope máximo

$$[if] = \frac{800}{p} - 0.2 * p \quad (85)$$

$$[if] = \frac{800}{\frac{5}{8}} - 0.2 * \frac{5}{8} = 1279.9$$

$$if \leq [if] \rightarrow ok$$

Con la ayuda del catálogo Rexnord y con todos los parámetros necesarios seleccionamos la catalina correspondiente para nuestro sistema de compactación que proporcione la tarea que se necesita.

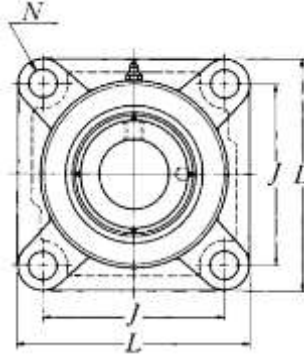


Fuente: (Rexnord, 2009)

### 3.9 Selección de chumaceras

Se utiliza el catalogo el catalogo (NTN, 2009)

Figura 42. Chumacera cuadrada



Fuente: (NTN, 2009)

Reacción existente en el eje

$$R_{radial} = \sqrt{R_{xz}^2 + R_{xy}^2} \quad (86)$$

Para el punto A

$$R_{radial} = \sqrt{(730,60 \text{ N})^2 + (1021,50 \text{ N})^2}$$

$$R_{radial} = 1255,88 \text{ N}$$

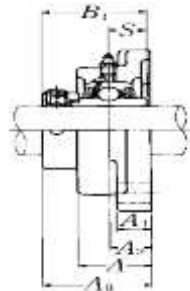
Para el punto B

$$R_{radial} = \sqrt{(871,77 \text{ N})^2 + (3223 \text{ N})^2}$$

$$R_{radial} = 3338,81 \text{ N}$$

Se selecciona un rodamiento rígido de bolas ya que presenta una carga radial elevada en el punto B.

Figura 43. Rodamiento de bola

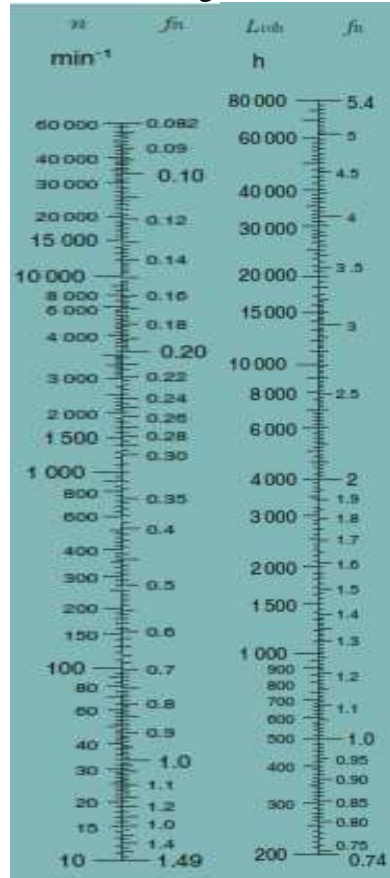


Fuente: (NTN, 2009)

### Factor de velocidad de giro $f_n$

Se encuentra en función del número de revoluciones.

Figura 44. Factores de velocidad de giro vs factores de esfuerzo dinámico



Fuente: (NTN, 2009)

Para una velocidad de 28rpm, se tiene:  $f_n = 1,05$

Para un total de 26000h, se tiene:  $f_l = 3,75$

Factor de esfuerzo dinámico  $f_l$  que se lo encuentra en función de la vida del rodamiento.

### Factor de esfuerzos estáticos $S_0$

Tabla 15. Factores de esfuerzo estático

Condición de operación	Rodamientos de bolas
Requerida una precisión de alta rotación	2
Requerida una precisión normal de rotación (aplicaciones generales)	1
Permite deterioro por precisión rotacional ligera (Velocidad baja, cargas grandes, etc.)	0,5

Fuente: (NTN, 2009)



$$S_0 = 0.5$$

### ***Análisis dinámico***

$$P_r = X.Fr + Y.Fa \quad (87)$$

X = factor radial

Y = factor axial

$$Fr = R_{radial \text{ máximo}} = 3338,81 \text{ N}$$

Como  $Fa = 0$ , entonces  $Y = 0$  y  $X = 1$

$$P_r = Fr = 3338,81 \text{ N}$$

$$C_{REQ} = \frac{f_l * P_r}{f_n} \quad (88)$$

$$C_{REQ} = \frac{3,75 * 3338,81 \text{ N}}{1,05}$$

$$C_{REQ} = 11924,32 \text{ N} = 11,9 \text{ kN}$$

### ***Análisis estático***

$$P_{or} = X_o.Fr + Y_o.Fa$$

Como se trabaja con el catalogo NTN, el mismo que nos dice que: cuando solo se trata con cargas radiales se usa los siguientes valores:

$$X_o = 1 \text{ y } Y_o = 0$$

$$P_{or} = F_r = 3338,81 \text{ N}$$

$$C_{oREQ} = S_o * P_{or} \quad (89)$$

$$C_{oREQ} = 0,5 * 3338,81 \text{ N}$$

$$C_{oREQ} = 16690,90 \text{ N} = 16,69 \text{ kN}$$

Parámetros para la selección del rodamiento

$$d = 25,4 \text{ mm}$$

$$N = 28 \text{ rpm}$$

Figura 45. Selección del rodamiento

Tipo abierto

Tipo con tapas  
(ZZ)

Tipo con sello  
de no contacto  
(LLB, LLF)

Tipo con sello  
de bajo torque  
(LLH)

Tipo con sello  
de contacto  
(LLU)

**d 20 ~ 35mm**

	Dimensiones principales				Capacidades básicas de carga				Factor	Velocidades límites				Números de rodamientos				
	mm				kN		kgf			r.p.m.				tipo abierto	con tapas ZZ	con sello de no contacto LLB	con sello de bajo torque LLH	con sello de contacto LLU
	d	D	B	r <sub>max</sub> <sup>(1)</sup>	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	C <sub>r</sub>	C <sub>or</sub>	f <sub>0</sub>	grasa tipo abierto ZZ	aceite tipo abierto LLB	Z LB	LLH	LLU				
<b>20</b>	72	19	1.1	—	28.5	13.9	2 900	1 420	11.4	12 000	14 000	—	—	6404	—	—	—	—
<b>22</b>	44	12	0.6	0.5	9.40	5.05	955	515	13.9	17 000	20 000	13 000	10 000	60/22	ZZ	LLB	LLH	LLU
	50	14	1	0.5	12.9	6.80	1 320	690	13.5	14 000	17 000	12 000	9 700	62/22	ZZ	LLB	LLH	LLU
	56	16	1.1	0.5	18.4	9.25	1 880	945	12.4	13 000	15 000	11 000	9 200	63/22	ZZ	LLB	LLH	LLU
<b>25</b>	32	4	0.2	—	1.10	0.840	112	86	15.8	4 000	4 600	—	—	6705	—	LLF	—	—
	37	7	0.3	0.3	4.30	2.85	435	300	16.1	18 000	21 000	—	10 000	6805	ZZ	LLB	—	LLU
	42	9	0.3	0.3	7.05	4.55	715	460	15.4	16 000	19 000	—	9 800	6905	ZZ	LLB	—	LLU
	47	8	0.3	—	8.35	5.10	855	520	15.1	15 000	18 000	—	—	18005	—	—	—	—
	47	12	0.6	0.5	10.1	5.85	1 030	595	14.5	15 000	18 000	11 000	9 400	6005	ZZ	LLB	LLH	LLU
	52	15	1	0.5	14.0	7.85	1 430	800	13.9	13 000	15 000	11 000	8 900	6205	ZZ	LLB	LLH	LLU
	62	17	1.1	0.5	21.2	10.9	2 160	1 110	12.6	12 000	14 000	9 700	8 100	6305	ZZ	LLB	LLH	LLU
	80	21	1.5	—	34.5	17.5	3 550	1 780	11.6	10 000	12 000	—	—	6405	—	—	—	—

Fuente: (NTN, 2004)

$$C_{DIS} = 34,5 \text{ kN}$$

$$C_{oDIS} = 17,5 \text{ kN}$$

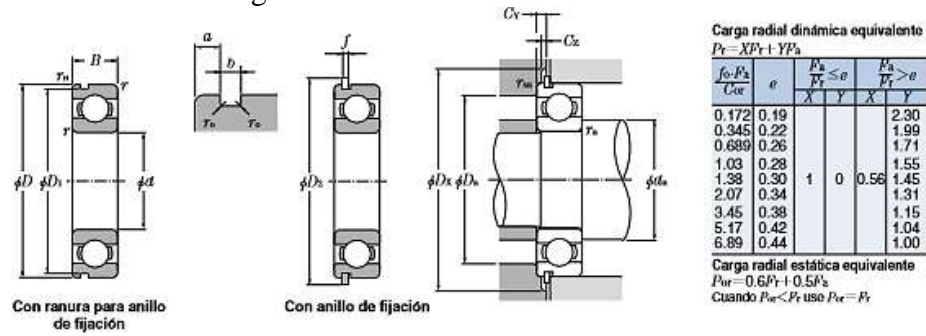
Se compara

$$C_{oREQ} < C_{oDIS}$$

$$C_{REQ} < C_{DIS}$$

Con lo cual se puede observar que la selección es la adecuada para todos los requerimientos de trabajo que se necesita en el desarrollo del presente sistema de compactación de la máquina expendedora inversa

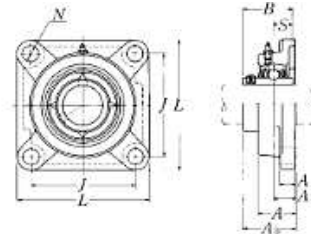
Figura 46. Parámetros del rodamiento



Números de rodamientos		Dimensiones de la ranura para anillo de fijación mm				Dimensiones del anillo de fijación mm			Dimensiones de hombros y filetes mm										Masa <sup>(1)</sup> kg (aprox.)
ranura para anillo de fijación	anillo de fijación	D <sub>i</sub> max	a max	b min	r <sub>a</sub> max	D <sub>h</sub> max	f max	d <sub>h</sub> min	d <sub>h</sub> max <sup>(2)</sup>	D <sub>k</sub> max	D <sub>k</sub> (aprox.)	C <sub>y</sub> max	C <sub>x</sub> min	r <sub>e</sub> max	r <sub>ie</sub> max				
—	—	—	—	—	—	—	—	26.5	—	65.5	—	—	—	1	—	—	—	—	0.4
N	NR	41.75	2.06	1.35	0.4	48.3	1.12	26	26.5	40	49	2.9	1.2	0.6	0.5	—	—	—	0.074
N	NR	47.6	2.46	1.35	0.4	55.7	1.12	27	29.5	45	56.5	3.3	1.2	1	0.5	—	—	—	0.117
N	NR	53.6	2.46	1.35	0.4	61.7	1.12	28.5	31	49.5	62.5	3.3	1.2	1	0.5	—	—	—	0.176
—	—	—	—	—	—	—	—	26.6	27.3	30.4	—	—	—	0.2	—	—	—	—	0.005
N	NR	35.7	1.3	0.95	0.25	39.8	0.85	27	28	35	40.5	1.9	0.9	0.3	0.3	—	—	—	0.022
N	NR	40.7	1.7	0.95	0.25	44.8	0.85	27	29	40	45.5	2.3	0.9	0.3	0.3	—	—	—	0.042
—	—	—	—	—	—	—	—	27	—	45.0	—	—	—	0.3	—	—	—	—	0.06
N	NR	44.6	2.06	1.35	0.4	52.7	1.12	29	30.5	43	53.5	2.9	1.2	0.6	0.5	—	—	—	0.08
N	NR	49.73	2.46	1.35	0.4	57.9	1.12	30	32	47	58.5	3.3	1.2	1	0.5	—	—	—	0.128
N	NR	59.61	3.28	1.9	0.6	67.7	1.7	31.5	35	55.5	68.5	4.6	1.7	1	0.5	—	—	—	0.232
—	—	—	—	—	—	—	—	33	—	72	—	—	—	1.5	—	—	—	—	0.53

Fuente: (NTN, 2004)

Figura 47. Selección de la chumacera



Diámetro del eje	Número <sup>1)</sup> de la chumacera	Dimensiones nominales										Tamaño del perno	Número del rodamiento
		mm					pulg.						
mm pulg.		L	J	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A	N	A <sub>3</sub>	B	S	mm pulg.		
12 1/2	UCF201D1 UCF201-008D1	86 3 3/8	64 2 33/64	15 19/32	11 7/16	25.5 1	12 15/32	33.3 1 5/16	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC201D1 UC201-008D1	
15 9/16 5/8	UCF202D1 UCF202-009D1 UCF202-010D1	86 3 3/8	64 2 33/64	15 19/32	11 7/16	25.5 1	12 15/32	33.3 1 5/16	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC202D1 UC202-009D1 UC202-010D1	
17 1 1/16	UCF203D1 UCF203-011D1	86 3 3/8	64 2 33/64	15 19/32	11 7/16	25.5 1	12 15/32	33.3 1 5/16	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC203D1 UC203-011D1	
20 3/4	UCF204D1 UCF204-012D1	86 3 3/8	64 2 33/64	15 19/32	11 7/16	25.5 1	12 15/32	33.3 1 5/16	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC204D1 UC204-012D1	
25 1 3/16 7/8 15/16	UCF205D1 UCF205-013D1 UCF205-014D1 UCF205-015D1	95 3 3/4	70 2 3/4	16 5/8	13 1/2	27 1 1/16	12 15/32	35.8 1 13/32	34.1 1.3425	14.3 0.563	M10 3/8	UC205D1 UC205-013D1 UC205-014D1 UC205-015D1	
1	UCF205-100D1											UC205-100D1	

Fuente: (NTN, 2009)

### **Características de diseño y ventajas.**

La chumacera libre de mantenimiento posee una grasa que tiene como base un alto grado de litio, lo que permite un alto tiempo de vida funcional, ideal para los rodamientos tipo sellado.

El diseño de sello hermético, tiene la posibilidad de eliminar el goteo de la grasa que esté presente en la chumacera, evitando cualquier tipo de riesgo.

### **Características especiales de sellado.**

Tienen la capacidad de evitar el ingreso de la entrada de polvos.

### **Montaje seguro.**

El rodamiento de la chumacera, se asegura firmemente al árbol o eje en el cual va estar montado, por medio del apriete del tornillo de fijación con cabeza tipo esférica ubicado encima el anillo interior.

Evitando el aflojamiento a lo expuesto entre lo cual tenemos ambientes corrosivos; a altas vibraciones y a cargas de choque.

### **Auto-alinealidad.**

La superficie exterior del rodamiento de bola y la superficie interior del alojamiento son de geometría esférica, lo que hace que el alineamiento sea automático, este se corrige al momento de alguna presencia de des alinealidad en el eje ante agentes externos que lo puedan producir.

### **Montaje con facilidad.**

La chumacera seleccionada, es un conjunto de pequeños elementos mecánicos principalmente el rodamiento y el alojamiento, el rodamiento al fabricarse ya es pre lubricado con el porcentaje correcto de grasa se lo puede montar en el eje tal cual está sin la necesidad de otra lubricación.

## Reemplazo del rodamiento.

Estos rodamientos son reemplazables, si existiera algún tipo de fallo en el mismo, este se lo puede desmontar y cambiarlo por otro de las mismas características en el alojamiento.

- **Material.-** Alojamiento de hierro fundido gris.
- **Capacidad anticorrosiva.-** Para este parámetro se tome en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 16. Capacidad anticorrosiva

NTN recomienda grados de para una óptima resistencia a la corrosión. Excelente ← → Deficiente

Materiales	Condición	Atmósfera		Agua		Acido		
		Seco	Húmedo	Agua natural	Agua sódica	Acido nitrogenado	Acido sulfúrico	Acido clorhídrico
Acero inoxidable martensita SUS440C, SUS410		0	1	1	3	3	X	X
Acero inoxidable de austenita SUS304, SUS316		0	0	0	0	0	0	1
Plásticos poliéster VALOX 420		0	0	0	0	3	0	0
Polipropileno, polietileno		0	0	0	0	0	0	0
Acero duro de carbono SUJ2		1	3	3	X	X	X	X
Acero de carbono, Hierro fundido		3	X	X	X	X	X	X

Fuente: (NTN, 2009)

- **Designación.-** La designación de las chumaceras, se basan en los Estándares Industriales Japoneses JIS. El código para el tipo de rodamiento, de alojamiento, la serie del diámetro y el diámetro del orificio, están expresados en el sentido de izquierda a derecha en la numeración.

Figura 48. Chumacera UCF205-100D1seleccionada



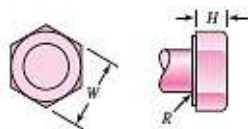
Fuente: (NTN, 2009)

### 3.10 Dimensionamiento de los pernos de sujeción

Para la fijación de todas las partes y elementos de la máquina, se utilizan dos tipos de pernos:

**3.10.1 Pernos de sujeción en la carcasa.** Para la sujeción de los componentes en el cuerpo de la carcasa, se selecciona 12 pernos de  $\frac{5}{16} \times 1 \frac{1}{2}$  in M6x1.5 de paso basto clase 5.2; 4 para fijar el cuerpo del cilindro con el cono y 8 para fijar las platinas sujetas del sistema de compactación con el cuerpo del cilindro de la máquina; ensamblado con tuercas hexagonales que sirven para mantener unidos dos sistemas de la máquina, para lo cual se procede a determinar el esfuerzo cortante del perno y la carga máxima que el conjunto de ensamble pueda soportar con un factor de seguridad de 2,5 recomendados por parámetros de diseño.

Tabla 17. Dimensiones de pernos de cabeza cuadrada y hexagonal



Tamaño nominal, pulg	Tipo de cabeza								
	Cuadrada		Hexagonal regular			Hexagonal pesada			Hexagonal estructural
	W	H	W	H	$R_{min}$	W	H	$R_{min}$	W H $R_{min}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{11}{64}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{11}{64}$	0.01				
$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{13}{64}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{7}{32}$	0.01				

Fuente: (Budynas, Nisbett)

Tabla 18. Dimensiones de tornillos de cabeza hexagonal común y pesada

Tamaño nominal, pulg	Radio mínimo de filete	Tipo de tornillo		Altura H
		Prisionero W	Pesado W	
$\frac{1}{4}$	0.015	$\frac{7}{16}$		$\frac{5}{32}$
$\frac{5}{16}$	0.015	$\frac{1}{2}$		$\frac{13}{64}$






Fuente: (Budynas, Nisbett)

Tabla 19. Dimensiones de tuercas hexagonales

Tamaño nominal, pulg	Ancho W	Altura H		
		Hexagonal regular	Gruesa o ranurada	Contra-tuerca
$\frac{1}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{9}{32}$	$\frac{5}{32}$
$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{17}{64}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{3}{16}$

Fuente: (Budynas, Nisbett)

Tabla 20. Especificación SAE para pernos de acero

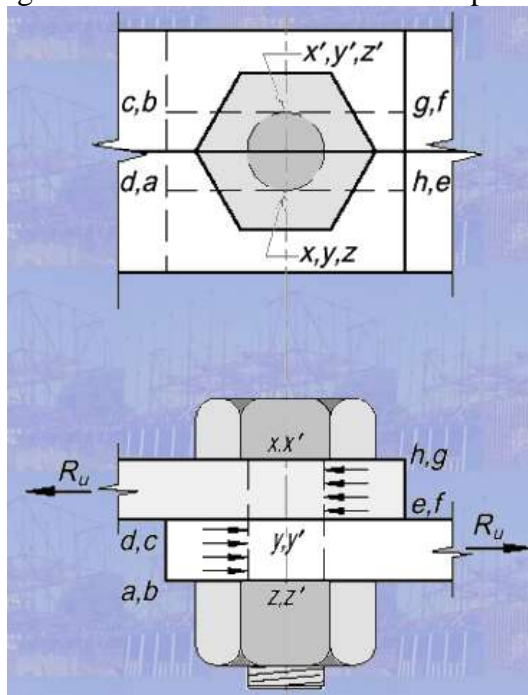
Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{8}$ $\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	55 33	74 60	57 36	Acero de bajo o medio carbono	
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4}$ -1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85 74	120 105	92 81	Acero de medio carbono, T y R	
5.2	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

Fuente: (Budynas, Nisbett)

Para los primeros 4 pernos de unión de cuerpo cilíndrico con el cuerpo cónico, no se hace ningún análisis de esfuerzos sometidos, ya que no ejercen un porcentaje determinante en su función de unión empernada, más que solo la unión de dos cuerpos.

Para los 8 pernos restantes si se hace el análisis por cortante puro simple.

Figura 49. Resistencia al corte de los pernos



Fuente: (Web3, 2015)



Si se considera por experimentación un peso total del sistema de compactación de aproximadamente 785lbf (3491,85N)

$$F = 3491,85N$$

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (90)$$

A= área de la sección transver

sal del perno

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (91)$$

$$Ab = \frac{\pi}{4} (10 \text{ mm})^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{3491,85 \text{ N}}{(78,54 \text{ mm}^2)} = 44,46 \text{ MPa}$$

La resistencia a corte de pernos con la rosca incluida es aproximadamente 25% menor que la de pernos con rosca excluida.

La norma LRFD, sección J3.6 especifica que la resistencia de diseño a corte es  $\phi Rn$  donde  $\phi$  es 0.75.

$$\phi Rn = (Fv \cdot A b) n \quad (92)$$

Donde  $n$  es el número de pernos de la conexión,  $Fv$  es la resistencia nominal a corte y  $Ab$  es el área nominal del perno.

$$\phi Rn = (44,46 \text{ MPa} * 78,54 \text{ mm}^2) 8 = 27935,1 \text{ N}$$

$$Rn = \frac{27935,1 \text{ N}}{0,75} = 37246,8 \text{ N}$$



$$F_{s1} = \frac{37246,8 \text{ N}}{3491,85 \text{ N}} = 10,6$$

**3.10.2 Pernos de sujeción del sistema de compactación con la carcasa.** De la misma manera que en el análisis anterior se analiza a corte ya que es el esfuerzo predominante en el sistema de fallas.

Tabla 21. Dimensiones de pernos de cabeza cuadrada y hexagonal

Tamaño nominal, pulg	Tipo de cabeza										
	Cuadrada		Hexagonal regular			Hexagonal pesada			Hexagonal estructural		
	W	H	W	H	R <sub>mín</sub>	W	H	R <sub>mín</sub>	W	H	R <sub>mín</sub>
$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{11}{64}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{11}{64}$	0.01						
$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{13}{64}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{7}{32}$	0.01						
$\frac{3}{8}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{4}$	0.01						
$\frac{7}{16}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{19}{64}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{19}{64}$	0.01						
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{11}{32}$	0.01	$\frac{7}{8}$	$\frac{11}{32}$	0.01	$\frac{7}{8}$	$\frac{5}{16}$	0.009
$\frac{5}{8}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{27}{64}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{27}{64}$	0.02	$1\frac{1}{16}$	$\frac{27}{64}$	0.02	$1\frac{1}{16}$	$\frac{25}{64}$	0.021

Fuente: (Budynas, Nisbett)

Tabla 22. Dimensiones de tornillos de cabeza hexagonal común y pesada

Tamaño nominal, pulg	Radio mínimo de filete	Tipo de tornillo		Altura H
		Prisionero W	Pesado W	
$\frac{1}{4}$	0.015	$\frac{7}{16}$		$\frac{5}{32}$
$\frac{5}{16}$	0.015	$\frac{1}{2}$		$\frac{13}{64}$
$\frac{3}{8}$	0.015	$\frac{9}{16}$		$\frac{15}{64}$
$\frac{7}{16}$	0.015	$\frac{5}{8}$		$\frac{9}{32}$
$\frac{1}{2}$	0.015	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{5}{8}$	0.020	$\frac{15}{16}$	$1\frac{1}{16}$	$\frac{25}{64}$

Fuente: (Budynas, Nisbett)

Tabla 23. Dimensiones de tuercas hexagonales

Tamaño nominal, pulg	Ancho W	Altura H		
		Hexagonal regular	Gruesa o ranurada	Contra-tuerca
$\frac{1}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{9}{32}$	$\frac{5}{32}$
$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{17}{64}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{3}{16}$
$\frac{3}{8}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{13}{32}$	$\frac{7}{32}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{29}{64}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{31}{64}$	$\frac{39}{64}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{5}{8}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{35}{64}$	$\frac{23}{32}$	$\frac{3}{8}$

Fuente: (Budynas, Nisbett)

Se elige un grado SAE 4 por el tipo de proceso manufacturado.

Tabla 24. Especificación SAE para pernos de acero

Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{8}$	55	74	57	Acero de bajo o medio carbono	
	$\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36		
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	

Fuente: (Budynas, Nisbett)

Análisis a esfuerzo cortante puro simple

$$F = 3491,85 \text{ N}$$

$$\tau = \frac{F}{A}$$

A= área de la sección transversal del perno

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} (21 \text{ mm})^2 = 346,36 \text{ mm}^2$$

$$Fv = \tau = \frac{3491,85 \text{ N}}{(346,36 \text{ mm}^2)} = 10,08 \text{ MPa}$$

$$\phi Rn = (Fv \cdot A \cdot b) \cdot n$$

$$\phi Rn = (10,08 \text{ MPa} \cdot 346,36 \text{ mm}^2) \cdot 4 = 13967,37 \text{ N}$$

$$Rn = \frac{13967,37 \text{ N}}{0,75} = 18623,16 \text{ N}$$

$$Rn = 18623,16 \text{ N}$$

$$F_{s2} = \frac{18623,16 \text{ N}}{3491,85 \text{ N}} = 5,33$$








Se selecciona 8 pernos de 5/8 x 1 1/2 in M14x1.5 de paso basto clase 4.

**3.10.3 Pernos de sujeción del motorreductor con las placas de soporte al sistema de compactación.** El análisis se lo hace total y únicamente a corte puro simple, ya que la ubicación del motorreductor es en el sentido vertical, para tener un sistema más compacto en el sentido de eficiencia en la utilización del espacio disponible en la máquina.

Las dimensiones asumidas para su selección son las mismas de los pernos de sujeción en la carcasa, con la única diferencia en el grado SAE.

Se elige un grado SAE 8 por el tipo de proceso manufacturado y por la aplicación ya que va a estar inmerso juntamente con el motorreductor sometido a los esfuerzos externos del arranque el motorreductor y vibraciones del sistema de compactación.

Tabla 25. Especificación SAE para pernos de acero

Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, de inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$	55	74	57	Acero de bajo o medio carbono	
	$\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36		
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
	$1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	74	105	81		
5.2	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono T y R	

Fuente: (Budynas, Nisbett)

Análisis a esfuerzo cortante puro simple

Fm = Peso del motorreductor = 79 Kgf = 774,7 N

$$\tau = \frac{F}{A}$$

A= área de la sección transversal del perno

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} (10 \text{ mm})^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$Fv = \tau = \frac{774,7 \text{ N}}{(78,54 \text{ mm}^2)} = 9,86 \text{ MPa}$$

$$\phi Rn = (Fv \cdot A \cdot b) \cdot n$$

$$\phi Rn = (9,86 \text{ MPa} \cdot 78,54 \text{ mm}^2) 8 = 6195,23 \text{ N}$$

$$Rn = \frac{6195,23 \text{ N}}{0,75} = 8260,31 \text{ N}$$

$$F_{s3} = \frac{8260,31 \text{ N}}{774,7 \text{ N}} = 10,6$$

Se selecciona 8 pernos de 5/16 x 1 ½ in M6x1.5 de paso basto clase 8.

**3.10.4 Dimensionamiento de los prisioneros.** Los 4 prisioneros están dimensionados, de acuerdo a la conformación del sistema de compactación, el mismo que cuenta con dos placas paralelas que funcionan como soporte para los tres pisos o etapas de compactación.

Figura 50. Prisioneros del sistema de compactación



Fuente: (Autores)

La longitud no roscada de los prisioneros equivale a la distancia existente de las placas paralelas, por lo que la distancia entre placas es igual a 14 cm.

La función principal de los prisioneros, es el mantener constante, uniforme y especialmente mantener la fijación total para evitar desviaciones en todo el sistema de compactación, causado por flexión de ejes, pandeo de los engranes y sus elementos, y a su vez por los mismos esfuerzos existentes que se presentan al momento de poner en marcha el sistema de compactación.

Por disponibilidad, se elige un tamaño nominal de ¾ in.

Tabla 26. Dimensionamiento de pernos de cabeza cuadrada y hexagonal

Tamaño nominal, pulg	Cuadrada		Hexagonal regular			Tipo de cabeza Hexagonal pesada			Hexagonal estructural		
	W	H	W	H	$R_{\min}$	W	H	$R_{\min}$	W	H	$R_{\min}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{11}{64}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{11}{64}$	0.01						
$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{13}{64}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{7}{32}$	0.01						
$\frac{3}{8}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{4}$	0.01						
$\frac{7}{16}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{19}{64}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{19}{64}$	0.01						
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{11}{32}$	0.01	$\frac{7}{8}$	$\frac{11}{32}$	0.01	$\frac{7}{8}$	$\frac{5}{16}$	0.009
$\frac{5}{8}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{27}{64}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{27}{64}$	0.02	$1\frac{1}{16}$	$\frac{27}{64}$	0.02	$1\frac{1}{16}$	$\frac{25}{64}$	0.021
$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2}$	0.02	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	0.02	$1\frac{1}{4}$	$\frac{15}{32}$	0.021

Fuente: (Budynas, Nisbett)

Tabla 27. Dimensionamiento de tornillos de cabeza hexagonal común y pesada

Tamaño nominal, pulg	Radio mínimo de filete	Tipo de tornillo		Altura H
		Prisionero W	Pesado W	
$\frac{1}{4}$	0.015	$\frac{7}{16}$		$\frac{5}{32}$
$\frac{5}{16}$	0.015	$\frac{1}{2}$		$\frac{13}{64}$
$\frac{3}{8}$	0.015	$\frac{9}{16}$		$\frac{15}{64}$
$\frac{7}{16}$	0.015	$\frac{5}{8}$		$\frac{9}{32}$
$\frac{1}{2}$	0.015	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{5}{8}$	0.020	$\frac{15}{16}$	$1\frac{1}{16}$	$\frac{25}{64}$
$\frac{3}{4}$	0.020	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{15}{32}$

Fuente: (Budynas, Nisbett)

Tipo prisionero,  $W = 1\frac{1}{8} \text{ in} = 46\text{mm}$ , equivalente al M30





Cabe especificar que la longitud roscada, equivale a la altura de la tuerca hexagonal, ( $H=61/64 \text{ in}$ ), cuyo valor de longitud roscada es efectuada en cada extremo del prisionero o soporte.

Tabla 28. Dimensiones de tuercas hexagonales

Tamaño nominal, pulg	Ancho W	Altura H		
		Hexagonal regular	Gruesa o ranurada	Contra-tuerca
1/4	7/16	7/32	9/32	5/32
5/16	1/2	17/64	21/64	3/16
3/8	9/16	21/64	13/32	7/32
7/16	11/16	3/8	29/64	1/4
1/2	3/4	7/16	9/16	5/16
9/16	7/8	31/64	39/64	5/16
5/8	15/16	35/64	23/32	3/8
3/4	1 1/8	41/64	13/16	27/64

Fuente: (Budynas, Nisbett)

Tabla 29. Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, <sup>†</sup> MPa	Resistencia mínima a la tensión, <sup>†</sup> MPa	Resistencia mínima a la fluencia, <sup>†</sup> MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	

Fuente: (Budynas, Nisbett)

Se dimensiona cuatro prisioneros, roscados en cada borde,  $M30 \times 13/2$  in de grado 8.8.

### 3.11 Diseño del sistema de retribución

En base a los requerimientos de capacidad se requiere que se tenga un contenedor de chicles donde se los albergue.

Y para moverlo y tener el control sobre esta acción se lo realiza mediante servomotor que es debidamente controlado por un Arduino y por el PLC respectivamente.

Figura 51. Geometría del sistema de almacenaje de chicles.



Fuente: (Autores)

- Altura cilindro incentivo:  $H_{ci} = 220 \text{ mm}$
- Diámetro interno cilindro incentivo :  $\phi_{ici} = 76 \text{ mm}$
- Espesor cilindro incentivo:  $\phi_{ci} = 5 \text{ mm}$
- Diámetro tapa cilindro:  $\phi_{tc} = 85 \text{ mm}$
- Altura tapa cilindro:  $H_{tc} = 18 \text{ mm}$
- Diámetro base móvil cilindro:  $\phi_{bmc} = 66 \text{ mm}$
- Diámetro chicle:  $\phi_{ch} = 13 \text{ mm}$
- Diámetro ducto de alimentación y salida incentivo:  $\phi_{ta/s} = 26 \text{ mm}$
- Material sistema de incentivo: acero inoxidable 304



## CAPÍTULO IV

### 4 REDISEÑO AUTOMÁTICO.

#### 4.3 Sistema de accionamiento de identificación.

El sistema de identificación está basado primordialmente en función del diámetro de las botellas PET con una cierta tolerancia o juego entre ducto versus botella PET. Es un elemento fijo soldado al cono de la máquina RVM, cuyo ducto cuenta con dos perforaciones para la ubicación del sensor de detección de objetos presentes y del material PET respectivamente, a más de un corte radial para la ubicación de la compuerta que permite el paso de la botella PET al sistema de compactación.

El accionamiento de la compuerta se lo hace con un servomotor de alto torque, el mismo que es programado en una tarjeta Arduino y accionado por medio del PLC siemens, todo esto conlleva a la realización de una serie de programación en los softwares Arduino y TIA Portal, que mediante los cables de conexión de datos y Ethernet respectivamente para cada programa se transmite la información de la computadora a los dispositivos electrónicos anteriormente mencionados.

Figura 52. Placa Arduino para control de Servos.



Fuente: (autores)

## Parámetros Mecánicos

El rediseño de este elemento, se basó principalmente en el peso de la botella introducida vacía y con cierto porcentaje de fluido presente además de la geometría variante que existe en el mercado de la gran mayoría de botellas plásticas PET de 500ml. El material seleccionado para dicho ducto se lo hizo del mismo acero inoxidable 304 para tener un cordón de soldadura perfecto en su acople; para lo que permite que sea satisfactorio para las necesidades requirentes.

Figura 53. Ducto para el deslizamiento de la botella



Fuente: (Autores)

## Parámetros electrónicos.

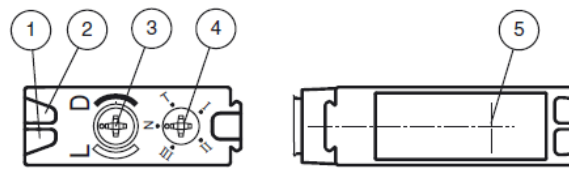
Los sistemas de identificación del material PET, cuentan de dos sensores: un sensor capacitivo de detección de presencia de objetos, y, otro sensor fotoeléctrico de barrera por reflexión (PET) con conector metálico M12 a 5polos, con una orientación a 90°, posee un conmutador TEACH-IN para requerimientos de ajuste de las diferentes etapas de identificación de contrastes.

Figura 54. Sensor por reflexión con filtro polarizado para la detección



Fuente: (Pepperl+Fuchs, 2013)

Figura 55. Elementos de indicación y manejo



Fuente: (Pepperl+Fuchs, 2013)

Tabla 30. Parámetros de manejo del sensor PET.

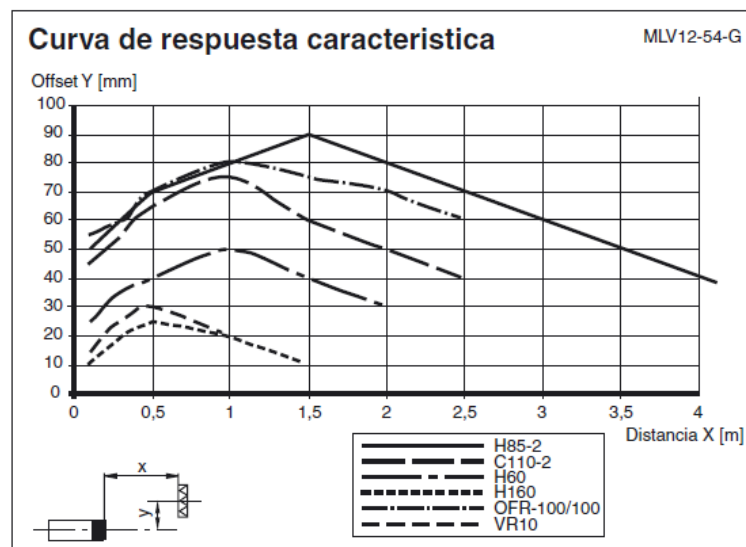
1	Indicación de operación	verde
2	Estado de conmutación	amarillo
3	Conmutador claro/oscuro	
4	Conmutador TEACH-IN	
5	Eje óptico	

Fuente: (Pepperl+Fuchs, 2013)

El tipo de conmutación que da el sensor, depende del tipo de contraste reflejado por el haz de luz emitido por el sensor y por la barrera o placa de reflexión. Este sensor detecta el material PET y emana con una señal máxima de conmutación de 30 VCC a 0,2 A máximo con una frecuencia de 1000Hz en un tiempo de 0,5 ms.

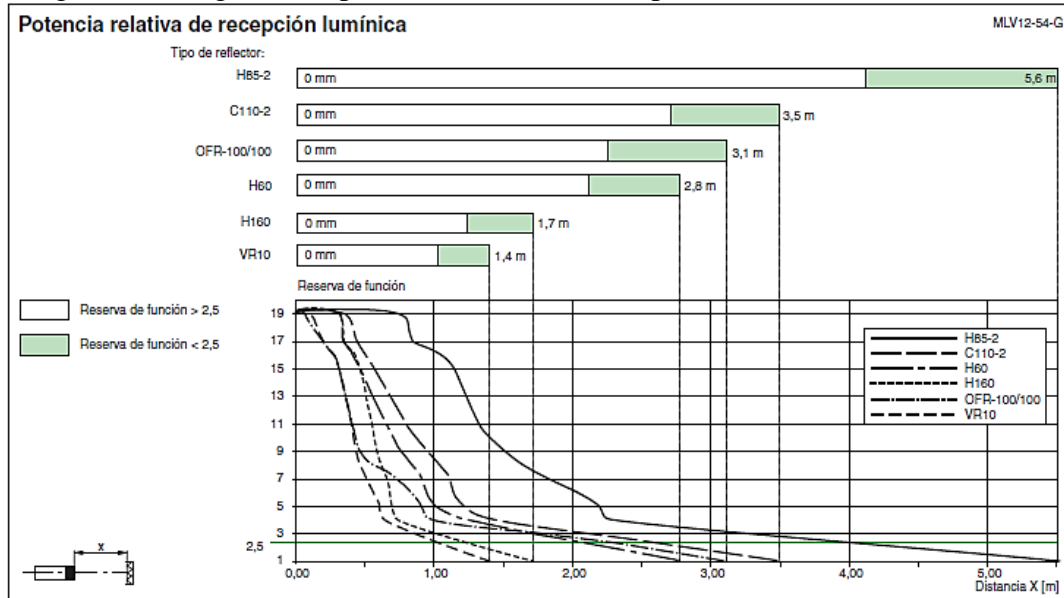
La sensibilidad de este sensor es de 0 a 4,2 m como distancia útil de trabajo y como distancia útil límite de 5,6 m. La calibración esta efectuada a una distancia de 25cm por disponibilidad de espacio requirente en la máquina.

Figura 56. Curva característica de funcionamiento del sensor PET.



Fuente: (Pepperl+Fuchs, 2013)

Figura 57. Diagrama de potencia relativa de recepción lumínica del sensor PET.



Fuente: (Pepperl+Fuchs, 2013)

La señal de este sensor con TEACH-IN, es de gran importancia en la funcionalidad de la máquina, ya que es requisito para abrir la compuerta para el paso de botella PET y para el encendido del sistema de compactación.

Para abrir la compuerta de paso de botella PET, se usa la acción de un servomotor con alto torque de 10 kg, el mismo que posee las siguientes características.

Figura 50. Servomotor Alto torque MG996R.



Fuente: (HoobyKing, 2015)

Tabla 31. Parámetros del servomotor MG996R.

1	Torque de trabajo	10 kg.cm
2	Máximo Torque	12 kg.cm
3	Máximo Voltaje	6 V
4	Velocidad	0.17 sec/60 grados

Fuente: (HoobyKing, 2015)

Figura 51. Servomotor para compuerta instalado



Fuente: (Autores)

#### 4.4 Sistema de accionamiento de retribución.

Este sistema de accionamiento de retribución es un mecanismo de rotación de una placa agujereada con el diámetro del incentivo (chicle), la misma que se encuentra acoplada por un pequeño eje de 8mm de diámetro con un rodamiento de bolas. Todos estos elementos se encuentran en la base del cilindro que almacenan los incentivos, esta placa es accionada por un servomotor estándar de 3.5 kg.cm, el mismo que está programado y enlazado en la placa arduino con el PLC siemens.

Figura 52. Sistema de retribución.



Fuente: (Autores)

Para abrir el paso del incentivo hacia el ducto de descarga, se usa la acción del servomotor con un torque estándar, ya que posee un rodamiento en el eje de acople para evitar sobreesfuerzos en el servo y futuramente causar daños del mismo, este posee las siguientes características.

Figura 53. Servomotor Estándar HiTEC HS-311.



Fuente: (HiTEC, 2015)

Tabla 32. Parámetros del servomotor HiTEC HS-311.

1	Torque	3.0/3.7 kg.cm
2	Tipo de motor	3 pole
3	Voltaje	4.8/6.0 V
4	Velocidad	0.19/0.15 sec/60 grados

Fuente: (HiTEC, 2015)

Figura 54. Servomotor para incentivo instalado



Fuente: (Autores)

#### 4.5 Sistema de ingreso y salida de señales de la máquina RVM.

A este sistema se lo conoce principalmente como el cerebro de la máquina RVM, ya que su principal componente es el Controlador Lógico Programable PLC Siemens, ya que se encarga del manejo de todas las señales existentes en la máquina, estas son de los sensores, motorreductor, servomotores, pulsadores de encendido apagado, emergencia y conexión HMI.

Figura 55. Controlador Lógico Programable Siemens S7 1200.



Fuente: (Autores)

Figura 56. Tablero de Control y Potencia de la máquina RVM



Fuente: (Autores)

#### 4.6 Sistema de interfaz HMI con máquina RVM.

Este sistema de conexión se basa en la interfaz de comunicación hombre-máquina, para tener control por medio de una pantalla HMI touch Siemens, la misma que facilita el manejo del equipo en caso de paros de emergencia y también como contador del número de incentivos que emana la máquina RVM por cada reciclaje de botellas PET.

Este sistema de interfaz es muy estético y facilita como un ente publicitario e informativo de nuestra máquina RVM.

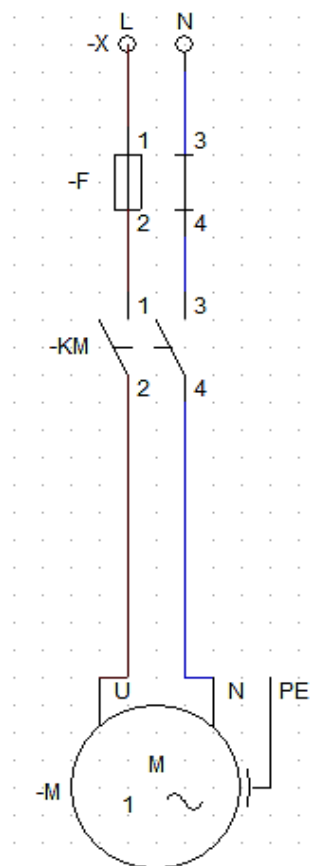
Figura 57. Interfaz HMI con máquina RVM



Fuente: (Autores)

#### 4.7 Diagrama de Potencia de la máquina RVM.

Figura 58. Diagrama de Potencia



Fuente: (Autores)



## CAPÍTULO V

### 5 CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PROGRAMACIÓN

Para el proceso de construcción y montaje de la máquina recicladora inversa RVM, se lo realizo en un taller mecánico industrial de la ciudad de Riobamba.

Figura 59. Proceso de construcción de la máquina RVM



Fuente: (Autores)

Varias máquinas y herramientas se utilizaron para lograr su construcción y montaje, las cuales se describe a continuación.

- Equipo de Oxicorte
- Dobladora de acero
- Equipo de soldadura TIC
- Flexómetro
- Calibrador pie de rey
- Calibrador Digital, Multímetro
- Juego de Llaves
- Martillo
- Martillo de goma
- Cuchillas para tornear

- Juego de destornilladores
- Moladora
- Pulidora
- Soldadora SAW
- Cabos de tensión
- Brocas
- Entenalla
- Torno
- Discos de Corte y de Pulir

### **Descripción del material de los elementos constitutivos de los diferentes sistemas de la máquina RVM.**

Se necesitaron varios elementos mecánicos para la construcción de la máquina expendedora inversa, (RVM) compactadora de botellas. Todos estos equipos se encontraron en la localidad; existen elementos que solo se hicieron el pedido y otros que se enviaron a manufacturar.

Entre los principales elementos que se necesitaron para la elaboración de la maquina se muestra la siguiente tabla:

**Tabla 33. Materiales utilizados en el sistema de compactación.**

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Material/ Modelo</b>
Placas de soporte motorreductor	2	ASTM A36
Placas de soporte sistema de compactación	2	ASTM A36
Rodillos compactadores	6	Caucho macizo sintético
Eje principal	1	AISI 1035
Ejes secundarios	5	AISI 1035
Chumacera	12	UCF205-100D1
Catalina	4	No. 50 /.625"
Cadena	2	No. 50 /.625"
Engranés	6	Acero al carbono
Chavetas	6	AISI 1045
Prisioneros	4	3/4x13/2" grado 8.8

Fuente: (Autores)

Figura 60. Componentes del sistema de Compactación.



Fuente: (Autores)

Tabla 34. Materiales utilizados en la Carcasa.

Elemento	Cantidad	Material/ Modelo
Cuerpo cilíndrico máquina	1	Acero inoxidable 304 de 1.5 mm
Cuerpo cónico máquina	1	Acero inoxidable 304 de 1.5 mm
Cuerpo cilíndrico de Interfaz HMI	1	Acero inoxidable 304 de 1.5 mm
Base del almacenamiento	1	Acero inoxidable 304 de 1.5 mm
Puerta Superior	1	Acero inoxidable 304 de 1.5 mm
Puerta Inferior	1	Acero inoxidable 304 de 1.5 mm

Fuente: (Autores)

Figura 61. Carcasa máquina RVM.



Fuente: (Autores)

Tabla 35. Materiales utilizados en el sistema de sujeción.

Elemento	Cantidad	Material/ modelo
Platinas de sujeción rectas	4	ASTM A36
Platinas de sujeción circular	2	ASTM A36
Pernos sujeción motorreductor-sistema de compactación	8	M6 x 1.5 clase 8
Pernos de sujeción sistema de compactación-platinas de soporte	4	M14 x 1.5 clase 4
Pernos de sujeción platinas de soporte-carcasa	8	M6 x 1.5 clase 5.2
Pernos de sujeción cuerpo cónico-cuerpo cilíndrico de la carcasa	4	M6 x 1.5 clase 5.2

Fuente: (Autores)

Figura 62. Platinas de sujeción y acople.



Fuente: (Autores)

Tabla 36. Materiales utilizados en el Sistema de incentivo

Elemento	Cantidad	Material/ Modelo
Almacenamiento incentivo	1	Acero inoxidable 304 de 5 mm
Soportes de mecanismo de incentivo	1	ASTM A 36
Ducto de entrada de incentivo	1	Acero inoxidable 304
Ducto de salida de incentivo	1	Acero inoxidable 304
Tuerca de cubierta de entrada de incentivo	1	M34 clase 5.2
Elemento móvil circular	1	Acero inoxidable 304

Fuente: (Autores)

Figura 63. Compuerta para evacuación de botellas PET compactadas.



Fuente: (Autores)

Tabla 37. Materiales utilizados en el Sistema de Recepción botella

Elemento	Cantidad	Material/ Modelo
Ducto de entrada botella	1	Acero inoxidable 304
Soporte de sujeción de accionadores	1	ASTM A36
Compuerta de paso	1	ASTM A36

Fuente: (Autores)

Figura 58. Soportes de Accionadores.



Fuente: (Autores)

### 5.3 Construcción del sistema de identificación y acceso de botellas plásticas PET.

Para la construcción de este sistema de identificación se efectuó varias pruebas para su construcción y montaje final. Este sistema cuenta de un ducto de entrada de la botella plástica PET de 89 mm de diámetro constituido de un tubo de acero inoxidable 304 por donde se tiene el ingreso de los envases plásticos; el mismo que se encuentra soldado al cuerpo cónico de la máquina RVM con un ángulo de inclinación directo al sistema de compactación de 65°.

Además, cuenta con una compuerta que permite de ingreso de la botella plástica PET construida de una placa de tol colocada a la mitad del ducto, es decir, aproximadamente a 15 cm de distancia de la entrada de la botella, esta es accionada por un servomotor de alto torque MG996R de 10 Kg.cm.

El sensor de detección de la botella y el sensor de detección de objetos presentes también van a estar instalados en la base del ducto de entrada de la botella PET, soportados por unas platinas, donde está instalado el servomotor para su accionamiento.

Todos estos procesos de construcción se lo hicieron a partir de la instalación del ducto de entrada de la botella. Luego de efectuar ciertos agujeros y espaciamientos para la colocación de los instrumentos, se procedió a instalarlos con sumo cuidado, ya que se trata de instrumentos electrónicos de gran delicadeza y moderado costo.

Una vez instalados los instrumentos se procede a cablear sus sistemas de alimentación de voltios, ya que el sensor se lo alimenta con una fuente de 24 VDC y al servomotor se lo alimenta con 5 VDC

#### **5.4 Construcción del sistema de incentivo por botella.**

Este sistema cuenta de un cilindro almacenador de incentivo con una altura de 22 cm y diámetro de 76 mm, se lo construyo de acero inoxidable 304 con espesor de 5 mm, el material seleccionado se lo efectuó en función del tipo de incentivo ya que en este caso es de carácter comestible (chicles). Para evitar el contacto de partículas suspendidas en el medio con el incentivo se colocó una tapa roscada del mismo material.

Para la alimentación de chicles se lo acopló un ducto de alimentación curvo de 26 mm con una altura de 20 cm que esta soldada a la tapa roscada del cilindro almacenador, todo esto se lo hizo para facilitar la alimentación del incentivo, teniendo así rapidez y eficiencia cuando se terminen la cantidad de incentivos almacenados.

El ducto curvo tiene una alineación con la tuerca M36 roscada en la parte superior de la máquina RVM, para la protección de los chiches a dosificar.

En la base del cilindro almacenador se construyó y montó una placa del mismo material, con un agujero de 15 mm de diámetro, el mismo que está en función del diámetro del chicle. Esta placa es movable y accionada por un servomotor estándar HiTech de 3,5 Kg.cm, para causar la caída del incentivo por el ducto receptor de chicles al usuario que deposite la botella.

La base móvil tiene una holgura con las paredes del cilindro almacenador de 5 mm; para facilitar el accionamiento del servomotor se instaló un rodamiento de diámetro interno de 8 mm para tener un juego elevado y evitar un sobreesfuerzo en el servomotor, provocado

por el peso del número de chicles depositados en el cilindro almacenador cuando este completo.

El soporte para el cilindro almacenador de chicles y para el servomotor se construyó con platinas de acero ASTM A36, en el un extremo esta soldado con puntos de suelda al cilindro almacenador y en el otro extremo esta empernado en una esquina del sistema de compactación de la máquina RVM.

Para el ducto de salida de los chicles o incentivos se lo acopla con suelda en un extremo con la base del cilindro almacenador y el otro extremo en la parte exterior de la carcasa, para su posterior consumo por la persona que recicle su envase.

### **5.5 Construcción de la caja para HMI.**

Esta caja para su construcción se lo hizo en función de las dimensiones de la pantalla HMI adquirida, que para este caso se lo adquirió una pantalla HMI KTP 400 monocromática, cuyas dimensiones para la caja es de 15x15 cm.

La caja esta soldada en la parte superior de la máquina RVM, cumpliendo los parámetros dimensionales para su manipulación de la interfaz Hombre-Máquina.

Figura 59. Caja de acople para HMI



Fuente: (Autores)

### **5.6 Construcción del cono para sistemas de identificación, acceso e incentivo.**

El cono fue diseñado para abordar y cumplir cuatro parámetros fundamentales; cantidad de equipos o instrumentos a cubrir, cilindro de cuerpo de la máquina, cilindro de la caja

para HMI y especialmente la forma de la máquina para que se asemeje a una botella, cumpliendo así parámetros de estética y ergonomía.

Las dimensiones son de una pirámide truncada con diámetro menor de 16 mm, diámetro mayor de 54 mm y una altura de 32 mm.

Figura 60. Elemento cónico de la máquina RVM



Fuente: (Autores)

### **5.7 Construcción del almacenamiento de botellas compactadas.**

El sistema de almacenamiento de las botellas compactadas está colocada en la base de la máquina RVM, por debajo del sistema de compactación, posee una serie de agujeros o perforaciones finas en su base para causar la fuga de ciertas cantidades de agua existentes en la botella a reciclar.

Sus dimensiones están en función del número de bebidas consumidas por cada mes, por los estudiantes de la facultad de Mecánica de la ESPOCH. Posee un volumen de 0,192 m<sup>3</sup> con capacidad de almacenar 900 botellas compactadas en su totalidad. Su construcción es de forma cilíndrica con  $\varnothing 600 \times 680$  mm; de acero inoxidable 304 con espesor de 1,5 mm.

### **5.8 Construcción del sistema de compactación.**

El sistema de compactación, se lo rediseño en su totalidad, el mismo que se tomó en cuenta la optimización y el aprovechamiento de recursos disponibles.



En primer lugar se partió del voltaje que se dispone en el lugar a implementar la máquina RVM, para lo cual se inicia con la necesidad de implementar un sistema de compactación funcional a 110 V. Para lo cual se construyó seis cilindros compactadores, dos primarios de 165 mm de diámetro y los otros cuatro de 110 mm de diámetro. Colocados de par en par por tres filas en serie para el compactado total de la botella, para ello se los construyo de caucho macizo sintético.

Luego se procedió a torneear los dos cilindros primarios de agarre una muesca triangular para que embone la tapa de la botella plástica, facilitando así su empuje a los siguientes pares de rodillos, a continuación se hizo el mecanizado de los ejes de transmisión de 1" de diámetro, más tarde se procedió a cortar las chavetas y fresar dichos ejes con las dimensiones anteriormente diseñadas para la ubicación de las chumaceras, engranes, catalinas y cadenas.

Todos estos elemento mecánicos de soporte y transmisión respectivamente, están soportados en dos placas paralelas de soporte de acero ASTM A 36 distanciadas a 14 cm una de otra.

Figura 61. Placa paralela para montaje de elementos mecánicos de compactación.



Fuente: (Autores)

Una vez armado la caja compactadora, se le anexo el motorreductor con sujeción empernada a dos placas de acero ASTM A36 las cuales se les acoplo con pernos de sujeción anteriormente seleccionados a las caja de compactación, las placas de sujeción del motorreductor con la caja compactadora son de geometría cuadrada de 10x12 cm, finalmente se añadió los 4 prisioneros para mantener la estabilidad y paralelismo de las placas paralelas del sistema de compactación., con la finalidad de que sus elementos se encuentren en el lugar correcto.

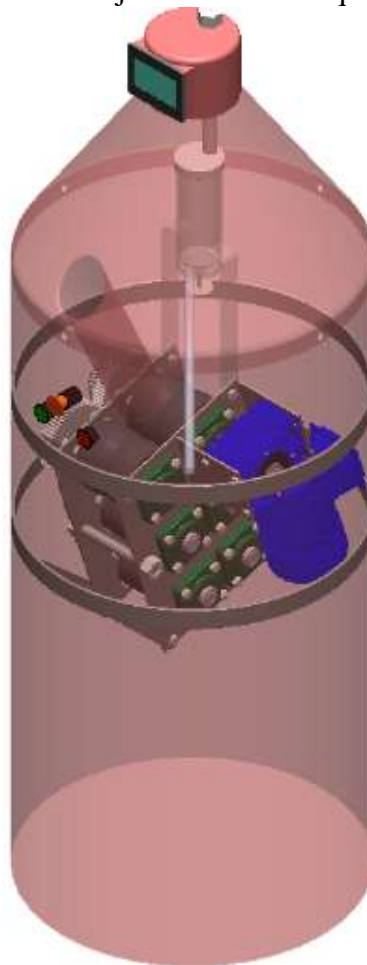
Se hizo las conexiones y cableados adecuados para el accionamiento del motorreductor a 110 V, que con la debida programación en el PLC Siemens dará funcionamiento a la máquina.

### **5.9 Montaje total de elementos de la máquina RVM.**

El montaje de todos los elementos constitutivos se los complementan con los equipos eléctricos, electrónicos y de control; como lo son: la adquisición de los sensores, controlador PLC Siemens, pantalla HMI para la interfaz, tablero de control y potencia, servomotores, fuentes, relés, cables y todo lo concerniente a elementos electrónicos necesarios.

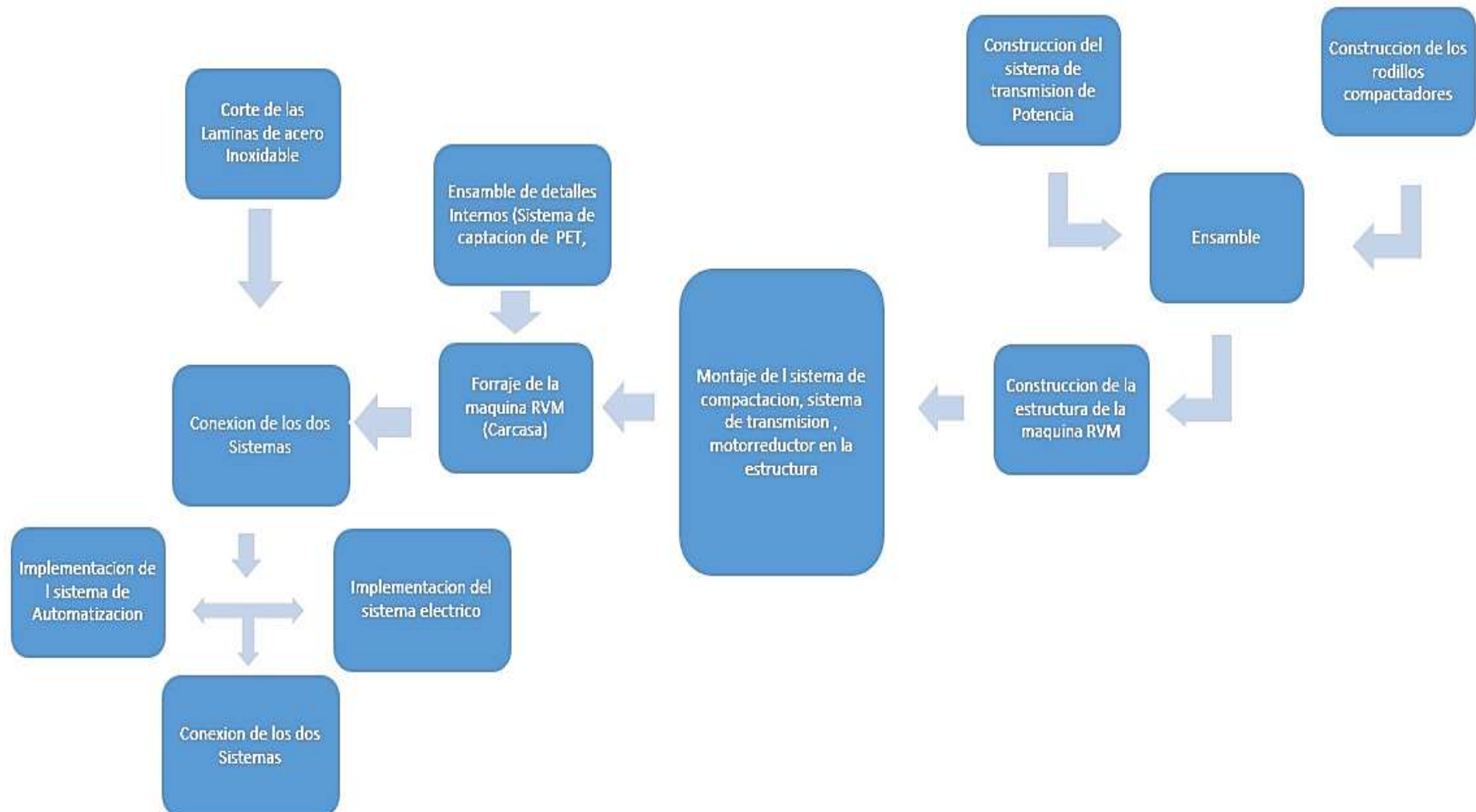
El montaje cumple el siguiente diagrama inmerso la construcción y el montaje o ensamble:

Figura 62. Montaje Final de la máquina RVM.



Fuente: (Autores)

Figura 63. Diagrama de la Construcción y el Montaje de la máquina RVM.



Fuente: (Autores)

## 5.10 Programación del sistema automático.

Se utilizó el PLC S7 1200, una pantalla monocromática KTP 400 además un Arduino uno para controlar los servomotores, los cuales se programaron para cumplir su función adecuada.

**5.10.1 Programación en Arduino.** La programación en Arduino, nos permite tener el control en tiempos, de los giros de los dos servomotores implementados en la máquina RVM; ya sea el uno para abrir y cerrar compuerta de acceso de la botella PET al sistema de compactación y el otro para promover el sistema de retribución, es decir permite el giro para el descenso del incentivo (chicle) por cada botella reciclada.

Figura 64. Línea de Programación Arduino

```
#include <Servo.h>
Servo Puerta; // Crear servo para la Puerta
Servo Chicles; // Crear servo para la Chicles

int buttonPin1 = 13;
int buttonPin2 = 12;
int buttonPin3 = 11;

int P=1;

void setup()
{
  Puerta.attach(9); // Pin 9 para el servo de la Puerta
  Chicles.attach(10); // Pin 10 para el servo de la Chicles

  pinMode(buttonPin1, INPUT_PULLUP); // PLC Q0.0
  pinMode(buttonPin2, INPUT_PULLUP); // PLC Q0.1
  pinMode(buttonPin3, INPUT_PULLUP); // PLC Q0.2
  Puerta.write(0);
}

void loop()
{
  if (digitalRead(buttonPin1) == LOW) // Si hay señal, deja caer un chicle
  {
    Chicles.write(50);
    delay(200);
    Chicles.write(0);
    delay(10);
  }
}
```

```

void loop()
{
  if (digitalRead(buttonPin1) == LOW) // Si hay señal, deja caer un chicle
  {
    Chicles.write(50);
    delay(200);
    Chicles.write(0);
    delay(10);
  }

  if (digitalRead(buttonPin2) == LOW) // Si hay señal, abre la puerta
  {
    Puerta.write(60);
    delay(10);
  }

  if (digitalRead(buttonPin3) == LOW) // Si hay señal, abre la puerta
  {
    Puerta.write(0);
    delay(10);
  }
}

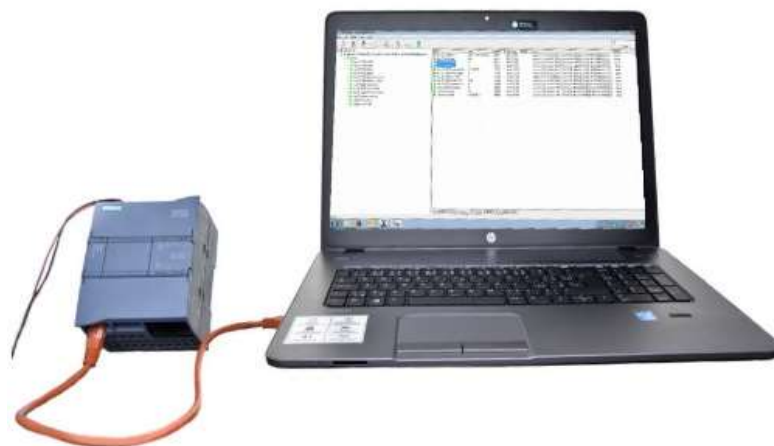
```

Fuente: (Autores)

**5.10.2 Programación en TIA Portal.** La programación en TIA Portal del paquete de software de Siemens, permite tener el absoluto control por medio del PLC S7 1200 el cual por medio de líneas de codificación o programación se puede controlar la máquina RVM de forma automática.

Esto se lo hace por medio de la conexión de PLC con el computador por medio del cable de puerto Ethernet, el cual permite cargar el programa respectivo.

Figura 65. Enlace de conexión PLC-Portátil.

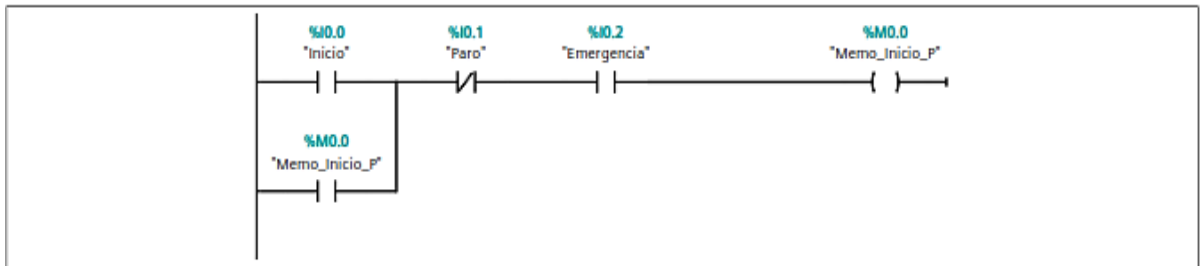


Fuente: (Foxon, 2015)

## Encendido y Apagado de la máquina.

El encendido y apagado se lo hace por medio de la declaración de variables de entrada al PLC, y se procede a programar en el TIA Portal una vez ya identificado el PLC en el software.

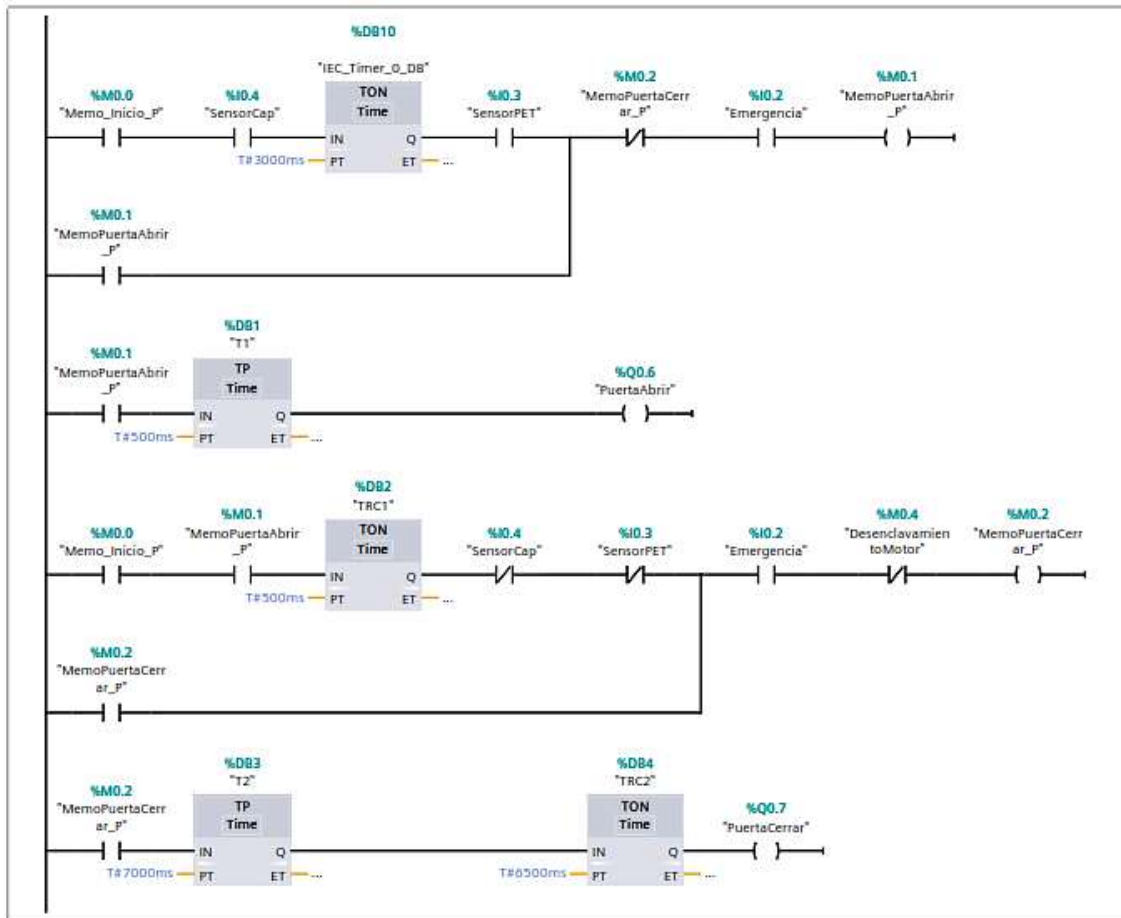
Figura 66. Segmento de control para el encendido y apagado de la máquina



Fuente: (Autores)

## Control de la puerta de acceso de botella PET a la máquina.

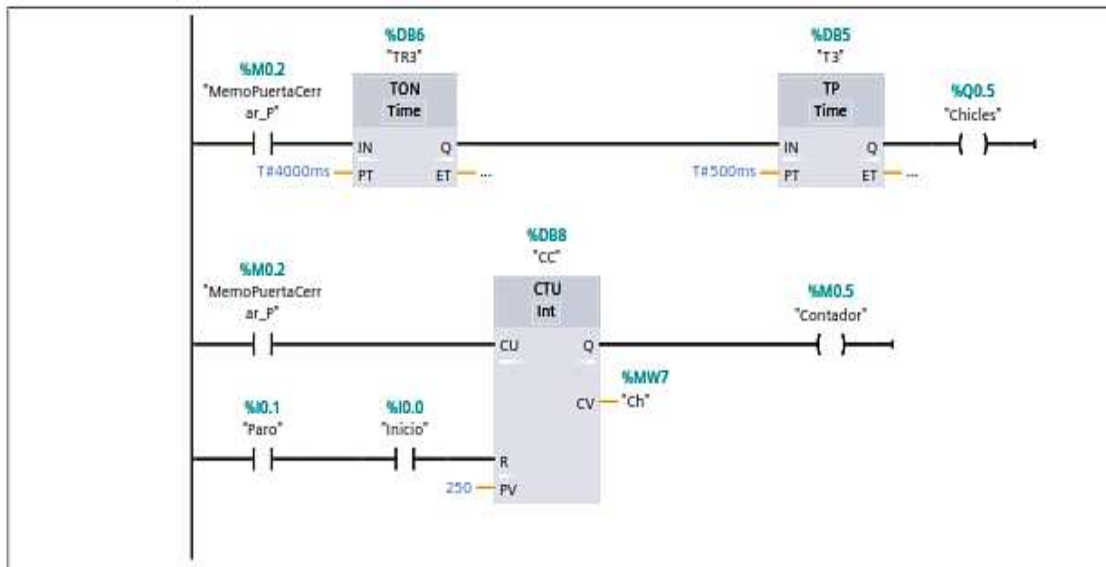
Figura 67. Segmento de control para la puerta de acceso de botella PET



Fuente: (Autores)

## Control del sistema de incentivo o retribución.

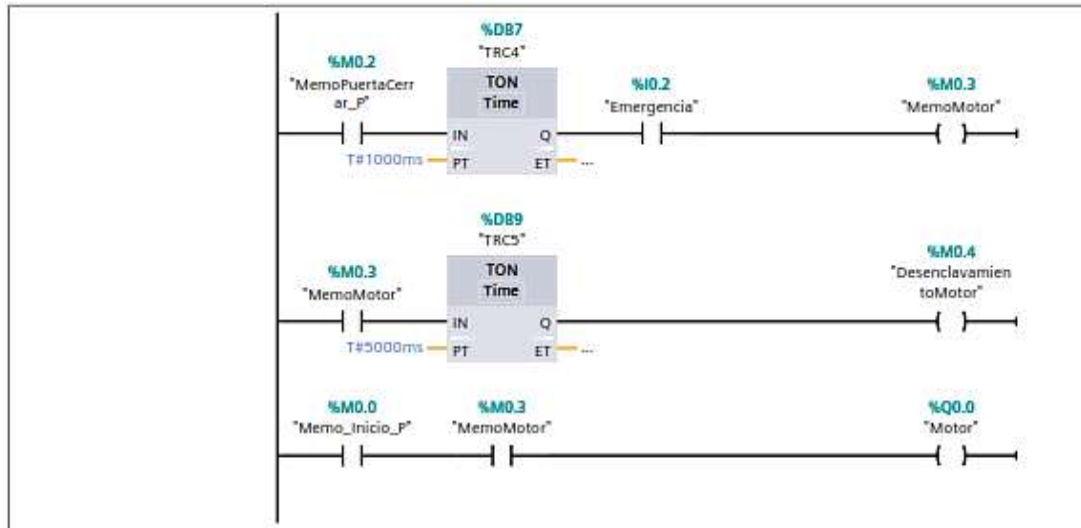
Figura 68. Segmento de control para el sistema de retribución por cada reciclaje



Fuente: (Autores)

## Control del sistema de compactación.

Figura 69. Segmento de control para el sistema de compactación.



Fuente: (Autores)

## **CAPÍTULO VI**

### **6. FASE EXPERIMENTAL**

#### **6.1 Puesta en marcha del equipo.**

Una vez terminado con todas las instalaciones adecuadas, en todos los sistemas de la máquina expendedora inversa se procede a poner en funcionamiento el equipo por lo cual se tiene los siguientes aspectos de importancia:

- Revisar que todos los sistemas no tengan algún agente externo.
- Abrir la tapa que se encuentra en la parte superior de la máquina y proceder a ingresar los chicles en el sistema de retribución. Se deposita las unidades necesarias hasta llenarlo, una vez terminado cerramos el compartimiento con la tapa para mantenerlo hermético.
- Ubicar adecuadamente la máquina en un lugar fresco y de fácil acceso para quienes lo utilicen, teniendo cercano la fuente de alimentación con la cual trabaja la máquina; en este caso 110 V.
- Conecte el enchufe a la fuente, inmediatamente se encenderá un foco de color rojo para indicar la máquina esta energizada y lista para operar.
- El encargado de la máquina debe abrir la compuerta superior donde se encuentran las partes electrónicas y presionar en el botón inicio (botón verde) para que el equipo empiece a realizar la tarea esperada.
- La pantalla de la HMI esta previamente programada únicamente para las acciones suficientemente necesaria para el funcionamiento, donde se muestra información importante para el usuario y para el encargado(a) de la máquina como el conocer la cantidad de botellas depositadas y también el número de chicles.
- Comenzar a utilizar el equipo.



## **6.2 Pruebas de funcionamiento.**

Este apartado se lo realiza las pruebas en cada sistema para verificando su funcionalidad individual y otra en forma conjunta para así garantizar el correcto desempeño de la maquina ante el usuario.

**6.2.1 Pruebas en el sistema mecánico.** Con botellas existentes en el mercado se realizó las pruebas. El motorreductor de 0.50 Hp y del nuevo sistema de compactación cada botella ingresa de forma vertical, con la parte de la tapa hacia abajo. Una vez que ingresa pasa por entre los rodillos compactadores los cuales comprimen la botella en su totalidad, independientemente de que se encuentre con la tapa o sin ella. Esto se debe gracias a que la fuerza es la suficiente para realizar este trabajo.

Con lo cual se evidencio que el sistema nuevo trabaja muy satisfactoriamente, realizando el trabajo esperado.

**6.2.2 Pruebas en el sistema automático.** Una vez realizado las instalaciones adecuadas y con los componentes para automatizar la máquina se verificó su funcionalidad, dando como resultado que todos los equipos responden a lo esperando, dado que danto las entradas que son los pulsadores y sensores y las salidas donde que se encuentran los servomotores, motorreductor proporcionan la adecuada señal para el correcto funcionamiento.

La HMI que está incorporada en la máquina y que trabaja con el PLC funciona correctamente dando una interfaz con el usuario óptima.

**6.2.3 Pruebas en el sistema retribución.** Este sistema funciona con un servomotor que proporciona un movimiento el cual está adecuado a un cilindro que se muestra en los planos respectivos. Propiciando el movimiento requerido para que la máquina proporcione un chicle, una vez ingresada la botella al equipo.

Este movimiento lo controla el PLC y que gracias al arduino proporciona la señal para que el movimiento sea correcto y así dando la utilidad adecuada y satisfactoria de este sistema.

**6.2.4 Pruebas en el sistema de acceso de la botella.** Este sistema es de vital importancia ya que abarca la seguridad del usuario y de la máquina, por lo cual se incorporó una compuerta que es accionada mediante un servomotor, quien recibe la señal del PLC para accionarse. El PLC bajo condiciones de seguridad, de que el material ingresado sea botella plástica y de que sea con dimensiones adecuadas en este presente trabajo; nos proporcionan señales gracias a los sensores que lo detectan, enviando la orden de abrir o cerrar la compuerta y así ingrese o no la botella al sistema de compactación.

Dado otras condiciones no se podrán abrir la compuerta, evitando cualquier accidente o el ingreso de materiales que no sean botellas plásticas PET adecuadas que puedan causar daños.

### **6.3 Análisis de resultados.**

Una vez incorporado todos los respectivos sistemas de la máquina expendedora inversa, (RVM) en su conjunto funcionan de una manera adecuada teniendo el siguiente proceso de operación:

Se ingresas la botella plástica de la manera adecuada por el ducto de entrada, el sensor PET detecta que sea del este material; y el otro sensor asegura que no exista obstáculo en la entrada, dando estos una señal para que se abra la puerta e ingrese la botella al sistema de compactación y se accione el motorreductor.

Además una vez que se acciona el motorreductor se envía la señal para que sistema de incentivo proporcione un chicle por la botella ingresada.

El proceso sigue continuamente y de forma correcta y no se acciona cuando se tiene materiales no correctos, dando así mayor seguridad tanto al usuario como al equipo ante posibles daños.

A continuación se presenta datos tabulados de diversas botellas compactadas de diferente marca y con o sin tapa.

Tabla 38. Resultados de compactación de botellas diversas

N°	Tiempo (segundos)	Tipo de botella	Con tapa/ Sin tapa	Espesor Compactado (mm)
1	10	Agua Bolívar	Con tapa	12
2	20	Agua Bolívar	Sin tapa	9
3	30	Dasani	Con tapa	13
4	40	Dasani	Sin tapa	9
5	50	Nestea	Con tapa	12
6	60	Nestea	Sin tapa	10
7	70	Tesalia	Con tapa	14
8	80	Tesalia	Sin tapa	10
9	90	Refresco del valle	Con tapa	13
10	100	Refresco del valle	Sin tapa	9

Fuente: (Autores)

Tabla 39. Resultados promedio de compactación de las botellas

N°	Tiempo (segundos)	Con tapa / Sin Tapa	espesor compactado medio (mm)
1	10	Con tapa	13
2	10	Sin Tapa	9

Fuente: (Autores)

Las botellas luego de realizado el procedimiento son compactadas de acuerdo a nuestros requerimientos, variando su espesor según la marca y el tipo de botella.

También se observa que el espesor compactada varía según si la botella se encuentre o no con tapa, según se observa en los resultados expuestos en las tabla 37 y 38.

Figura 70. Botellas procesada máquina RVM



Fuente: (Autores)

## CAPÍTULO VII

### 7. ANÁLISIS DE COSTOS

En esta sección se toma en cuenta todos los gastos que se produjeron en el diseño y construcción de la Máquina expendedora inversa, para todos los sistemas que abarca y su posterior funcionamiento y puesta en servicio.

#### 7.1 Costos directos.

Se tiene los diferentes gastos fijos que se necesitó durante la elaboración del presente proyecto:

- **Materiales**

Tabla 40. Costos de Materiales

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
1	Motorreductor de 1/2 Hp	1	400	400
2	Eje de transmisión de 1/2 plg.	0,5	25	12,5
3	Catalina	4	10	40
4	Engranaje	6	15	90
5	Cadena	1	40	40
6	Plancha de acero inoxidable 304 de 1,5 mm	1	250	250
7	Ruedas	4	3	12
8	PLC 1214C	1	750	750
9	Servomotores	2	20	40
10	HMI KTP400 Monocromática	1	400	400
11	Sensor capacitivo	1	25	25
12	Sensor PET	1	237	237
13	Relé	1	5	5
14	Placa de Arduino	1	35	35
15	Cable de Control	1	15	15
16	Contactores	4	7	28
17	Relé térmico	1	35	35
18	Bornera	1	7	7

Tabla 41. Costos de Materiales (Continuación)

19	Enchufe	1	1	1
20	batería de 6 V de 5ª	1	25	25
21	Tomacorriente	1	3	3
22	Placas de acero	2	12	24
23	Pasadores	4	3	12
24	Cilindros de caucho macizo	6	10	60
25	cables de conexión	1	5	5
26	Tubo de acero inoxidable 1plg	1	3	3
27	Rodamiento	1	3,5	3,5
28	Pernos 5/16 plg. con tuercas	2	1,5	3
29	bisagras acero inoxidable	4	2,5	10
30	Ruedas	4	2	8
31	Chumacera	6	12,5	75
32	platina 1"	0,5	10	5
33	Consumibles	1	20	20
34	chavetas cuadrada 10mm	6	0,5	3
<b>Total</b>				2682

Fuente: (Autores)

- **Mano de Obra**

Tabla 42. Costos por Mano de Obra

ITEM	DESCRIPCIÓN	HORAS DE TRABAJO	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
1	Tornero	8	4,25	34
2	Soldador	20	4,25	85
3	Ayudante mecánico	25	2,15	53,75
<b>Total</b>				172,75

Fuente: (Autores)

- **Máquinas y herramientas**

Tabla 43. Costos por uso de máquinas y herramientas

ITEM	DESCRIPCIÓN	HORAS DE TRABAJO	COSTO (USD/H)	COSTO TOTAL (USD)
1	Soldadora	7	7,5	52,5
2	Torno	5	9,5	47,5
3	Prensa	12	5	60
4	Taladro	15	3	45

Tabla 44. Costos por uso de máquinas y herramientas (Continuación)

5	Dobladora	3	3,5	10,5
6	Cortadora de Plasma	4	4	16
7	Esmeril	7	2,5	17,5
8	Flexómetro	8	1,5	12
9	Compresor	7	2,5	17,5
10	Herramientas varias	12	2	24
<b>Total</b>				302,5

Fuente: (Autores)

- **Transporte**

Tabla 45. Costos por transporte

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
1	Transporte de materiales al taller	1	25	25
2	Transporte del equipo	1	5	5
<b>Total</b>				30

Fuente: (Autores)

**Total de costos directos**

Tabla 46. Total de Costos Directos

ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO (USD)
1	Materiales	2682
2	Mano de obra	172,75
3	Equipos y materiales	302,5
4	Transporte	30
<b>Total</b>		3187,25

Fuente: (Autores)

El total de costos directos asciende a USD 3187,26

## 7.2 Costos Indirectos.

Para la determinación de los costos indirectos, se aplica los ciertos parámetros porcentuales evaluados en función de porcentajes recomendados económicamente para la cuantificación de costos indirectos.

Tabla 47. Total de Costos Directos

ÍTEM	DENOMINACIÓN	PORCENTAJE	COSTOS (USD)
1	Imprevistos costos directos	6%	191,24
2	Montaje de equipos	6%	191,24
3	Diseño Ingenieril	12%	382,47
4	Otros	6%	191,24
<b>Total</b>		30%	956,19

Fuente: (Autores)

El total de costos indirectos es de USD 956,19

### 7.3 Costos Totales.

Para la evaluación del total de costos invertidos en el presente proyecto, se suman los costos directos e indirectos.

Tabla 48. Total de Costos Directos

ÍTEM	DENOMINACIÓN	COSTOS (USD)
1	Total de costos directos (USD)	3187,25
2	Total de costos indirectos (USD)	956,19
<b>Total</b>		4143,44

Fuente: (Autores)

## **CAPÍTULO VIII**

### **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **8.1 Conclusiones**

Al finalizar el presente proyecto de tesis, se pudo cumplir con todos los objetivos planteados al inicio del proyecto.

Se logró alcanzar el espesor mínimo requerido de compactación de aproximadamente 5mm, cuyo valor varia con una tolerancia de  $\pm 1$ mm dependiendo de las características del material con el que esta manufacturado la botella plástica PET.

Las características de rediseño iniciales se logró cumplir más allá de lo planeado, teniendo una total hermeticidad en la carcasa externa de la máquina, ergonomía, tanto para el usuario como para el personal de mantenimiento y encargados, esteticidad cuya cualidad es indispensable en máquinas cuya función es la interconexión agradable y llamativa entre las personas a reciclar.

Mediante el rediseño se logró construir una máquina más pequeña que la original, aplicando métodos de gran distribución de los diferentes componentes y sistemas integrados en la misma, logrando tener una máquina con altura total no superior a 1.70 m y un diámetro de 0.60 m.

La máquina está dispuesta a recibir botellas de hasta 1litro que la compactan sin ninguna dificultad, brindándole la cualidad de recibir todos los tipos de envases plásticos de PET de hasta un litro sin ninguna restricción.

El sistema de identificación posee un gran nivel de seguridad, ya que está programada para la detección de material transparente plástico con o sin líquido interno, lo que hace una máquina segura y con un tiempo de vida prolongado en su funcionalidad.

El uso de energía a 110 V hace una máquina perfectamente asequible a cualquier lugar de instalación.



La aplicación del sistema de rodillos en serie, hace que sea un sistema totalmente funcional, ya que disminuye al máximo el espesor de la botella plástica compactada para tener mayor capacidad de almacenaje.

El almacenamiento de los incentivos (chicles) es de gran capacidad, lo que permite retener más de 600 chicles, es decir el tiempo de abastecimiento de los incentivos es mayor en comparación a la máquina inicialmente construida.

El tipo de incentivo por el reciclaje de botellas es de gran atracción para el usuario, ya que esto le hace una máquina muy atractiva para ejecutar dicha función.

La automatización implementada es de gran seguridad y rapidez ya que se cuenta con un Controlador Lógico programable Siemens que es de aplicación industrial, lo que hace que los mandos de señal sean rápidos en unidades de milisegundos a sus diferentes accionadores.

La implementación de la pantalla HMI permite a la máquina poseer parámetros de seguridad secundaria, estética, ergonomía, conteo de incentivo e información para los usuarios.

El sistema de almacenaje de las botellas plásticas PET, cuenta con un máximo de 400 botellas compactadas por cada semana.

Los ingresos por cada mes de la recolección de las botellas PET, es de aproximadamente \$40.00 USD

El material usado para la construcción de la carcasa es 100% acero inoxidable, lo que permite trabajar en ambientes atmosféricos regulares e irregulares.

El nivel de seguridad es alto en la caja de control y fuerza, ya que cuenta con un guardamotor térmico y con un breaker de inicio del sistema.

La hermeticidad y accesibilidad del tablero de control y potencia es muy eficiente y asequible respectivamente ya sea por casos de manipulación o arreglos o mantenimiento.

La potencia de ½ hp a 110 V hace que el sistema sea de gran compactación logrando la explosión de las botellas ingresadas ya sean con o sin liquido interno.

El planillado del consumo de energía por cada mes es de aproximadamente \$0.50 USD mensuales.

## **8.2 Recomendaciones**

Por parte del usuario a reciclar, el tiempo de espera es de 1seg como máximo para que el sensor PET identifique si es o no material plástico transparente para permitir la introducción total de la botella y por ende su posterior compactación y entrega del incentivo.

Tiempo para ingresar la siguiente botella 10 segundos como máximo.

El sensor instalado es para la detección de materiales transparentes de plástico y vidrio, posee una calibración para que cense solo plástico lo que permite su detección y por ende solo detecta material PET, es recomendable no ingresar otros tipos de materiales que no sean plásticos ya que la máquina de igual forma no dará paso a la introducción de la botella.

Al momento de introducir las botellas, es necesario verificar si en el ducto de alimentación de las botellas no haya algún objeto que impida el ingreso.

No olvidar que si la máquina acepta la botella reciclada, recibir su incentivo.

Verificar semanalmente el nivel de almacenaje de los incentivos (chicles) y de las botellas compactadas.

Solo en caso de emergencia presionar dicho pulsador para el paro total de la máquina.

Al momento de manipular la máquina y todos sus sistemas, es necesario y recomendable seguir el plan de funcionalidad y mantenimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

**CALLISTER, William. 2009.** *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Estados Unidos de América : WILEY, 2009: pág. 513.

**ZUERA, Tipos de plásticos. 2015.** <https://sites.google.com/site/zueraapvc/tipos-de-plasticos-termoplasticos-termoestables-y-elastomeros>. [En línea] 2015. [Citado el: 05 de 08 de 2015.]

**EL COMERCIO, Tendencias del reciclaje 2015.**  
<http://www.elcomercio.com/tendencias/reciclaje-hogares-ecuador-crecimiento-inec.html>. [En línea]. 2015. [Citado el: 05 de 08 de 2015.]

**CONSTITUYENTE, ASAMBLEA NACIONAL. 2011.** *Reglamento a ley fomento ambiental y optimización de ingresos del estado*. Montecristi : s,n., 2011

**CASTILLO, William.; DAQUILEMA Richard. 2014.** *Diseño y construcción de un modelo de máquina expendedora inversa (RVM) automatizada, orientada al reciclaje de botellas plásticas PET para la facultad de mecánica – ESPOCH TESIS*. Riobamba : Facultad de Mecánica, 2014.

**Web1, Tereftalato de Polietileno. 2015.**  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato\\_de\\_polietileno](https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato_de_polietileno). [En línea] 2015. [Citado el: 05 de 08 de 2015.]

**COMOHACER.EU, 2015.** <http://comohacer.eu/como-se-fabrican-las-botellas-de-plastico/>Cómo se fabrican las botellas de plástico. [En línea] 2015. [Citado el: 23 de 08 de 2015.]

**ECOLOGISTA, 2015.**  
[http://www.elecologista.com.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=108&Itemid=65](http://www.elecologista.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=108&Itemid=65). [En línea] 2015 [Citado el: 05 de 08 de 2015.]

**RECICLAJE, Wikipedia. 2015.** <https://es.wikipedia.org/wiki/Reciclaje>. [En línea] 2015. [Citado el: 23 de 08 de 2015.]

**UPSOCL, 2015.** <http://www.upsocl.com/comunidad/23-creativas-formas-de-volver-a-utilizar-las-botellas-de-plastico-2/>. [En línea] 2015. [Citado el: 23 de 08 de 2015.]

**TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS, Proceso de reciclaje del PET. 2015.**  
<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-pet.html> [En línea] 2015. [Citado el: 23 de 08 de 2015.]

**MEDINA, Samuel. 2015.** *Compactadora de botellas TESIS*.  
[http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1655/MEDINA\\_BARR ENECHEA\\_SAMUEL\\_COMPACTADORA\\_BORELLAS\\_PL%C3%81STICO.pdf?sequence=1](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1655/MEDINA_BARR ENECHEA_SAMUEL_COMPACTADORA_BORELLAS_PL%C3%81STICO.pdf?sequence=1) [En línea] 2015. [Citado el: 05 de 08 de 2015.]

**MACFAB, Compactadora para botellas. 2011.**  
[http://www.esp.macfab.com/prensa\\_debalas/Compactadora:para:botellas.pdf](http://www.esp.macfab.com/prensa_debalas/Compactadora:para:botellas.pdf). [En línea] 2011. [Citado el: 05 de 08 de 2015.]

**BUDYNAS, Nisbett. 1989.** *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México : Mc Graw Hill, 1989.

**ENGRANES, Elementos de Máquinas 2. 2014.** *Apuntes de elementos de máquinas II escuela de ingeniería mecánica*. Archivo pdf.

**MOTT, Robert L. 2004.** *Diseño de elementos mecánicos*. New Jersey : Pearson Prentice Hall, 2004.

**Web2, Constantes elastoplásticas de diferentes materiales. 2015.**

[https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Constantes\\_el%C3%A1stopl%C3%A1sticas\\_de\\_diferentes\\_materiales](https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Constantes_el%C3%A1stopl%C3%A1sticas_de_diferentes_materiales). [En línea] 2015. [Citado el: 06 de 09 de 2015.]

**KHURMI, R.S. 2005.** *Machine Design*. New Delhi : Eurasian Publishing House (PVT.), 2005.

**VANEGAS, Libardo. 2009.** *Introducción a los accionamientos de máquinas*. Diseño II. Pereira : Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, 2009.

**REXNORD, 2009.** *Rexnord cadenas y coronas*. <http://www.rexnord.com> [En línea] 2015. [Citado el: 09 de 08 de 2015.]

**NTN, 2009.** *Catálogo de chumaceras CAT. No. 2400-IX/S*. <http://www.nynmexico.com.mx>. [En línea] 2009 [Citado el: 10 de 08 de 2015.] Guadalajara : NTN, 2009.

**NTN, 2004.** *Catálogo de rodamiento de bolas y de rodillos CAT. No. 2202-VII/S*. <http://www.nynmexico.com.mx>. [En línea] 2004. [Citado el: 10 de 08 de 2015.] Guadalajara : NTN, 2004.

**Web3, Resistencia al corte de los pernos. 2015.**

<http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/americanab/08-conexionesApernadas/8-6.html>. [En línea] 2015. [Citado el: 13 de 08 de 2015.]

**PEPPERL+FUCHS, 2013.** *Barrera óptica por reflexión con filtro polarizado para la detección. MLV12-54-G/76b/124/128*. [Citado el: 04 de 09 de 2015.]

**HOOPYKING, 2015.** *International warehouse TowerproMG996R 10kg servo 55g/10kg/.20sec*. [http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/\\_\\_6221\\_\\_Towerpro\\_MG996R\\_10kg\\_Servo\\_55g\\_10kg\\_20sec.html](http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__6221__Towerpro_MG996R_10kg_Servo_55g_10kg_20sec.html). [En línea] 2015. [Citado el: 16 de 09 de 2015.]

**HITEC, 2015.** *Hitec multiplex HS-311 estándar economía servo*. <http://hitecrd.com/products/servos/sport-servos/analog-sport-servos/hs-311-standard-economy-servo/product>. [En línea] 2015. [Citado el: 16 de 09 de 2015.]

**FOXON, 2015.** *Configuración de la conexión entre siemens simatic s7-1200 y daltalogic servidor opc*. <http://www.foxon.cz/en/blogs/150-how-to-set-connection-between-siemens-simatic-s7-1200-and-daltalogic-opc-server.html>. [En línea] 2015. [Citado el: 16 de 09 de 2015]